



TITLE:

樹高測定誤差に関する実証的研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

和田, 茂彦

CITATION:

和田, 茂彦. 樹高測定誤差に関する実証的研究. 京都大学, 1972, 農学博士

ISSUE DATE:

1972-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r2018>

RIGHT:



樹高測定誤差に関する実証的研究

和田 茂彦

1 9 7 2

目 次

まえがき	1
緒 論	2
1. 研究の目的	2
2. 研究方法および内容	3
I. 距離測定誤差	5
1. 概 要	5
2. 実験の方法	6
3. 実験結果についての分散分析	10
(1) 距離測定誤差	13
(2) 測定所要時間	18
(3) 考 察	24
4. 解析用管理図	31
(1) はじめに	31
(2) 実験結果についての $\bar{x}-R$ 管理図および $\bar{x}-\sigma$ 管理図	35
(3) 考 察	36
5. 心理学的テスト	74
(1) テストの目的および方法	74
(2) 結果と考察	79
II. 樹高曲線の誤差およびそれが林分材積推定に及ぼす影響	82
1. 概 要	82
2. 試験の方法	82
3. 現行立木材積表の適合性の検定	85
(1) 現行立木材積表	85
(2) 材積表の適合性の検定方法および結果	86
4. 芦生地方スギ立木幹材積表	87
5. 樹高曲線の誤差および林分材積推定に及ぼす影響	93
結 論	100
要 約	103
文 献	108

ま え が き

最近の空中写真技術の進歩と近代統計学の発展とにより、森林調査方法も新しい観点からの体系の樹立が着々と進められてきたが、集約な林業経営あるいは試験研究のための精密な林木測定等においては、毎木直径調査とならんで樹高測定が相変らず基本作業として重要な役割を演じていることは、誰もが容易に是認するであろう。

また一般に林分材積の査定にあたっては、胸高直径ならびに樹高を因子とする2変数材積表が最も多く用いられているが、このような材積表は両因子の正確な測定が行なわれてはじめて価値あるものとなるのであって、これらの測定誤差に対する解明はきわめて重要な問題であるといえよう。しかしながら、直径測定誤差に関してはこれまでに多くのすぐれた研究成果が公表されているが、測定因子の一つである樹高については研究も少なく、とくに最近開発された新しい測高器を用いた場合の測定誤差は数量的にはっきりと把握されていないのが現状である。

本研究は林分構造要因を的確かつ迅速に知ることは、森林生産量などの推定に対し正しく基礎的かつ不可欠の資料を与えるものであるとの観点から、樹高測定とくにその基礎となる距離測定の誤差を理論的ならびに実験的に解析するとともに、樹高曲線式の選択、計算が林分材積の推定に及ぼす影響について考察し、さらにまた一部の測定者に対して行なった心理学的テストを通じて、このような作業に対する適性検査の可否を論ずることを目的として行なったものである。

本研究の遂行およびとりまとめにあたり、終始御指導と御鞭撻を賜わった京都大学農学部岡崎文彬教授、佐野宗一教授ならびに資料収集・計算にあたって直接・間接に御協力と御助言をいただいた京都府立大学農学部梶原幹弘助教授および京都大学農学部附属演習林山本俊明氏ならびに芦生演習林職員各位に対し深く感謝の意を表する。

1. 研究の目的

S. H. Spurr はダグラス・ファーの180個の標準地資料によりエーカーあたりをもととした材積といろいろな測定因子との間の関係をしらべて、次の表のような結果を得た。

林分材積と測定因子との関係

独立変数	相関係数	材積推定量の標準誤差	
		立方フィート	%
断面積	0.949	1520	14
樹高	0.903	2068	19
林令	0.799	2895	27
断面積, 樹高	0.978	1016	9
断面積, 地位	0.964	1277	12
樹高, 地位	0.908	2021	19
林令, 地位	0.891	2190	20
断面積, 樹高, 林令	0.980	966	9
断面積, 樹高, 地位	0.978	1074	10
断面積, 樹高, 林令, 地位	0.984	852	8
断面積, 樹高, BH	0.994	548	5
BH	0.990	680	6

註) BH : 単位面積あたりの胸高断面積合計 × 林分平均樹高

この表からも明らかなように、単一変量の中で林分材積と最も関係が深いものは断面積である。2つの変量の組合せの中で最も関係の深いものは断面積と樹高である。3つの変量の組合せの中では、断面積、樹高、林令の組合せが最も小さい誤差率ではあるが、これは断面積、樹高の組合せと同じ9%である。4つの変量の組合せは3つの変量の組合せよりもよくなっている。このように単一変量から測定因子の数を増すにつれて誤差は小さく

はなっているが、その差の割合は小さい。したがって測定の実行ならびに経費の面からすれば、特別の調査を除けばせいぜい2変量の組合せ、すなわち断面積と樹高の組合せによらざるをえないのであって、これら因子の測定誤差をできるだけ最小にするよう努むべきである。それ故これまでも多くの研究者が測定誤差を理論的ならびに実験的に解析しようとしてきたのであり、とくに断面積測定の誤差については、過失による誤差、定誤差または系統的誤差（輪尺誤差）、偶然誤差および括約誤差に分けて詳細な研究がなされたのである。

しかしながら一方の重要な変量である樹高については、これが距離測定と角度測定との2つの作業よりなり、また測定対象が的確にとらえられたかどうかの判定はきわめて難しく直径測定誤差のように容易に論ぜられないこともあって、これまで余り多くは触れられていなかった。

林分構造要因を正確かつ容易に把握することは、林分材積や生長量などの推定にあたって基礎的資料を与えるものであるから、本研究は樹高測定とくにその基礎となる距離測定の誤差を解析するとともに、一部の測定者に対して行なった心理学的テストを通じて、この種の作業担当者の適性についての客観的資料を得ようと試みたのである。

2. 研究方法および内容

Iにおいては主として距離測定誤差に関する多くの実験を行なった。すなわち最近ひろく用いられている測高器には、機構、構造上いくつかのタイプがあるが、その中から距離計、ブルーメ・ライス測高器およびシュビーゲル・レラスコープ2種を選び、定められた距離について3人の測定者がそれぞれ125回の測定を実施した。得られた測定誤差、測定所要時間については分散分析により、測定者、測定器械、測定距離、群（日）および繰返しならびにそれらの交互作用について解析を試みた。一方林業技術者がこの種の器械を使いこなすためには、どのような指導、管理をするべきかについて、試みに $\bar{x}-R$ 管理図法あるいは労研・安全テストの概念を導入し、適格者の選抜基準の確立を目指したのである。

IIにおいて取扱ったのは、樹高曲線の誤差およびそれが林分材積推定に及ぼす影響についてである。このためには林木に関するあらゆる情報が必要であるので、伐倒木について諸因子を測定し、これをそれぞれの目的に合わせて提供することとした。

非標本抽出誤差の一つ材積表の誤差を極力小さくすることによって、標本抽出誤差の解

明を容易にすることができると考えられるので、いくつかの現行立木材積表の適合性の検定を行なったところ、適用可能のものが存在しなかったため、新しく材積表を調製し、これを芦生地方スギ立木幹材積表として採用するとともに、以下行なり林分材積推定誤差の解析のための資料として供試した。

実測された直径と樹高の値を用い、数式によって樹高曲線回帰式を求める場合には、いくつかの式と計算方法が考えられるので、それぞれについて林分構成状態の異なる3つの森林における適合度をしらべることとした。しかしながらこの推定樹高を求めるのは、ほとんどの場合林分材積の推定を前提に行なわれるものであるから、上記材積表の助けをかりて各樹高曲線式および計算方法がどのような影響を与えるかを同時に明らかにしようとしたのである。

このように本研究は、表からも明らかなように断面積（直径）とならんで林分材積と関係の深い因子樹高を対象としてあらゆる角度からの解析と考察を加えることによって、これまで比較的なおざりにされてきたこの問題の解明をはかろうとしたものである。

I 距離測定誤差

1. 概 要

わが国で最も多く用いられているワイゼ測高器、測定上これと機構の異なるシュビーゲル・レラスコープ（以下単にレラスコープと呼ぶ）およびブルーメ・ライス測高器（距離測定には巻尺を使用）の3種によって測定された樹高の基準樹高（トランシット・コンパスによる測定値）に対する回帰を用いて、それぞれの有意差を検定した結果は次のようであった。

表-1 有意差の検定結果

（その1） 阪本奨学会山林スギ林（N=60）

器 種	ワイゼ測高器		ブルーメ・ライス測高器		レラスコープ	
検定 測定者	$t_a = \frac{ a }{\sqrt{V(a)}}$	$t_b = \frac{ b-1 }{\sqrt{V(b)}}$	t_a	t_b	t_a	t_b
A	1.559	1.767	1.749	1.675	2.993**	3.714**
B	1.983	1.672	3.932**	3.790**	4.654**	5.247**
C	2.827**	2.525*	2.220*	1.685	2.434*	2.656*
D	0.603	0.294	0.892	0.350	3.049**	4.608**

（その2） 芦生演習林スギ林（N=82）

器 種	ワイゼ測高器		ブルーメ・ライス測高器		レラスコープ	
検定 測定者	t_a	t_b	t_a	t_b	t_a	t_b
A	2.139*	3.849**	2.830**	4.224**	3.172**	4.999**
B	0.765	1.053	0.529	0.803	3.946**	3.802**
C	0.775	1.882	2.112*	1.895	0.940	1.709
D	1.845	3.415**	0.679	1.346	1.004	3.011**
E	0.002	1.330	0.313	0.282	0.140	1.490
F	1.196	1.716	2.186*	1.701	1.951	4.462**

注)	n = 40	危険率 5 % の t = 2.021	危険率 1 % の t = 2.704
	n = 60	“ t = 2.000	“ t = 2.660
	n = 120	“ t = 1.980	“ t = 2.617

* は危険率 5 %, ** は危険率 1 % で有意差あるものを示す。

各測高器間では、レラスコープが最も精度悪く、距離測定に巻尺を用いたブルーメ・ライスとワイゼ測高器の精度にはあまり差はない。これら測高器の誤差は、距離測定誤差と角度測定誤差とに分離して考えるべきものであって、ここでは両者の総合されたものとしてとらえられていることに問題があるので、以下に述べるような実験によって解析を進めることとした。

〔実験 1〕

レラスコープを用いての樹高測定は、使用方法を習得しなければ測定誤差を生じやすいものと考えられるが、反面傾斜地の多いわが国の森林では梢端が見える地点から測高できる利点をもつほか、円形標準地の設定にも利用できるのである。最も条件のよい平地において、距離および角度を測定し、測定者間に正確度、平行精度、再現精度および測定時間等のちがいが認められるかどうかを、また練習を積むことによって正確な測定が可能になるかどうかをしらべることは、今後この器械を使用する際に適切な指示を与えるのに役立つものと考えられたので本実験を行なった。

〔実験 2〕

急傾斜地の場合は別として、平坦もしくは緩傾斜地においては、距離計あるいはブルーメ・ライス測高器付属の距離計が、樹高測定の際の距離を測るために利用できるほか、レラスコープもその後新型が市販されるに至り、少なくとも 4 種の測定器械の比較、検討が可能になったこと、測定距離の長短による比較や、正確度と平行・再現精度をみるために一般に用いられている $\bar{x}-R$ 管理図を $\bar{x}-\sigma$ 管理図と対比させることによって、その可否を論ずる必要が認められたので、さらに次に述べるような実験を行なった。なおこれら器械とくにレラスコープによる距離測定は上に述べた円形標準地の設定のほか、上部幹直径、樹冠直径などの測定には不可欠のものであり、林内においては巻尺によるよりも能率的に行ないうる利点を有することはいうまでもない。

2. 実験の方法

〔実験 1〕

(1) 測定者

表-1に示した測高器を用いて樹高測定を行なった者の中からA, B, Cの3名と, 全く初めてこの器械を手にしたGの計4名が担当した。

(2) 測定器械および測定補助板

レラスコープのスタンダード型(旧型)を用い, 測定補助板として巾10cm, 長さ20cmの板の中央2cmを白く, 他を黒く塗り分けたもの3枚を, 2mボールの0, 1, 2mの位置に打ちつけたもの(0mの位置の白帯の下端と, 2mの白帯の上端との間隔が正確に2mとなるようにして木ねじで固定)を垂直に立てて使用した。

(3) 距離(水平距離)

測定距離としては20mの1種類のみ

(4) 場所

京都大学農学部構内の平坦地

(5) 測定方法

測定者は太陽を背にして立ち, レラスコープの視準線を測定補助者が垂直に立てたボールの1mの位置の白帯に合わせたのち, 器械を横にして上, 下の白帯を距離測定用20mの測帯で檢視し, 測定対象が定角とちょうど一致するまで前進または後退して, その一致点とボールとの距離を巻尺で, 所要時間をストップ・ウォッチで測定した。測定ごとにボールの位置を変えて, 4人の測定者が交互に3回ずつ, 日を変えて30群の測定を行なった。

〔実験 2〕

(1) 測定者

これまでに次に述べるような測定器械を用いたことのない林業技術者3名(KN, SH, ST)が担当した。前もって各器械の使用方法について説明をうけ, それぞれ数回程度の練習を行なってから本実験にとりかかった。

(2) 測定器械および測定補助板

(i) 測定器械

① 距離計 国産C社製 基線長可変式

記号 : D

② ブルーメ・ライス測高器 光学的定角距離計方式

記号 : B

③ レラスコープ (旧) スタндарт型

記号 : R-1

④ レラスコープ (新) 1962年型 — 広目盛付

記号 : R-2

(II) 測定補助板

各器械用の補助板はブルーメ・ライスの距離標識に合わせて、すべて黒地に白帯を有するものとし、また測定補助者の手ぶれ等によって視準が困難あるいは不正確になるのを防止するため、視準位置が常に測定者のほぼ目の高さとなるように、木製の四脚支柱に補助板を固定する方式を採用した。

ブルーメ・ライス測高器用として附属の距離測定用補助板を用いたほかは、距離計、レラスコープ旧型、新型に対しては特製のものを用いた。すなわち木の板 (長さ230cm, 幅9.5cm, 厚さ1.8cm) の片面に幅3cmの2つの白帯の外法が200cmになるように描き、さらにその中央に幅2cmの白帯を設けたのち、他の部分を黒色ペンキで塗りつぶしたもの (レラスコープ旧型用として垂直に立てて使用) と、他の面に両側の白帯間の外法を180cmとし、その他は上と同様の処理をしたもの (両側の白帯がレラスコープ新型用、中央の白帯が距離計用として、いずれも水平に保持して使用する) を作り、支柱を利用して設置した。

なおレラスコープ新型に対してこのような補助板を用いた場合は、厳密にいうと若干の誤差を含む。図1において、 d を樹木の直径、 e を単位測帯の幅 a を視準孔から木の中心までの水平距離とみなす。レラスコープにおいては、 n 個の測帯でおおわれているときは直径は nRE (レラスコープ単位)、水平距離 a は $a = 50/n \cdot d$ となるように視準孔から目盛までの距離 i と測帯の幅が定められている。

図からも明らかなように、上式の d は直径を示すものであるから、直径の代りに平面的な棒を用いるときは、その長さは d ではなく b でなければならない。すなわち

$$b = d \sec \frac{\alpha}{2} = \frac{n}{50} a \sec \frac{\alpha}{2}$$

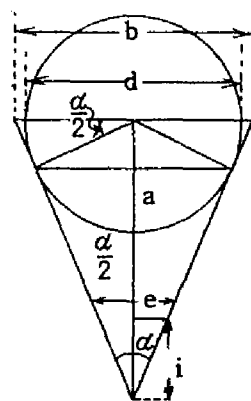


図-1 レラスコープの測帯幅と距離との関係

したがってbの代りにdをもって棒の長さとするれば、地上にとられた距離は

$$\Delta(\%) = \frac{1 - \sec \frac{\alpha}{2}}{\sec \frac{\alpha}{2}} \cdot 100$$

だけの誤差を含むことになる。

いま上記補助板の場合について考えてみると、

$$d = 180 \text{ cm} \quad n = 3 \quad a = 30 \text{ m}$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{d/2}{a} = \frac{1.8/2}{30} = 0.03 \quad \frac{\alpha}{2} \doteq 1^\circ 43'$$

$$\sec \frac{\alpha}{2} = 1.000449$$

$$\therefore b = 180 \times 1.000449 = 180.081 \text{ (cm)}$$

$$\Delta = \frac{1 - 1.000449}{1.000449} \times 100 = -0.045 (\%)$$

となり、正確には0.081cm長くしなければならないが、この誤差はきわめて小さく無視してさしつかえないものと考えられるので、そのまま使用することとした。

(3) 距離 (水平距離)

15mと30mの2種類

(4) 場 所

京都大学農学部産生演習林構内の平坦地

(5) 要因配置ならびに測定方法

上記の測定者・器械・距離等の要因配置を記号とともに図示すると、図-2のようになる。

測定順序は実験計画にもとづき、ランダムに測定者、器械、距離ごとに測定補助板およびその位置を変えて、各測定者がそれぞれ5回ずつ、日を変えて25群、これらはすべて順光の条件下で測定を行ない、〔実験1〕と同様にして距離測定値と所要時間とを記録した。なお精度を上げるためには、ブルーメ・ライスを除いて他はすべて三脚に固定する方法が望ましいが、林内における実際の測定にはほとんど用いられないので、手持ちによって測距を行なった。

実施にあたっては、測定者に測定補助者、記帳者各1名がつき、各測定終了と同時に所要時間を記録し、またその距離を巻尺を用いて測定補助板側で測って記帳することとして得られた値は測定者に知らせないように努めた。これは新たに測定を行なう場合には常に

測定対象を移動させることと同じく、前回の測定結果が測定者に影響を与えることを防ぐためのものである。

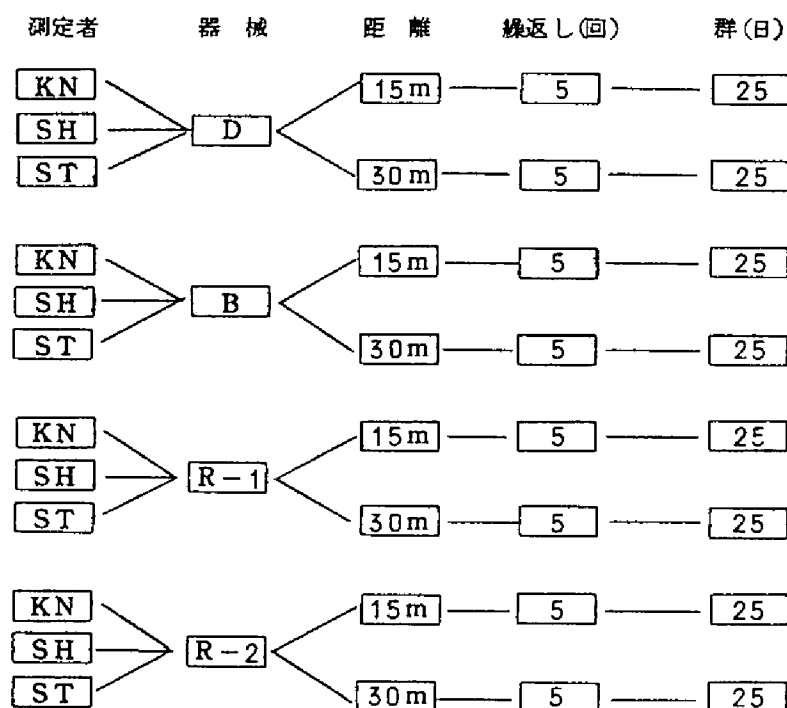


図-2 要因配置図

3. 実験結果についての分散分析

〔実験 2〕によって3,000個の測定値が得られたので、これを測定器械・測定者・距離別の平均値、範囲(R)および標準偏差(s)として表-2に、測定誤差率のヒストグラムを図-3に示す。

しかしながら、距離測定の解析にあたっては、実測値をそのまま用いるよりも、誤差の形で示した方が取扱いに便利であるので、この方法を採用し、前述の要因による系統的誤差の影響を明らかにするために分散分析を試みた。

それぞれ5因子についての解析であり、多くの交互作用項が出てくるが、本実験の主たる目的が主効果の検出にあるので、石川らの説を準用して誤差項へのプーリングを行ない、3因子交互作用以上の高次の交互作用については考察しなかった。

表-2 測定器械・測定者・測定距離別の測定値と測定所要時間

距離 測定値・時間 平均・R・s 測定者 器械		15 m						30 m					
		測定値 (m)			測定時間 (秒)			測定値 (m)			測定時間 (秒)		
		\bar{x}	R	\bar{s}	\bar{x}	R	\bar{s}	\bar{x}	R	\bar{s}	\bar{x}	R	\bar{s}
D	KN	14.936	0.144	0.052	17.1	18.0	6.40	29.815	0.241	0.088	18.3	16.5	6.03
	SH	15.005	0.184	0.066	12.3	6.9	2.55	29.799	0.322	0.117	14.3	9.8	3.50
	ST	14.997	0.146	0.053	14.4	8.5	3.08	29.913	0.419	0.151	18.8	12.6	3.17
	平均	14.979	0.158	0.057	14.6	11.1	4.01	29.842	0.327	0.119	17.1	13.0	4.23
B	KN	15.074	0.293	0.105	8.3	8.2	2.95	30.141	0.368	0.134	10.9	11.0	4.03
	SH	15.177	0.497	0.184	7.5	5.5	1.98	30.155	0.526	0.187	8.8	7.6	2.72
	ST	15.103	0.219	0.080	8.2	5.0	1.93	30.159	0.318	0.111	11.0	9.7	3.56
	平均	15.118	0.336	0.123	8.0	6.2	2.29	30.152	0.404	0.144	10.2	9.4	3.44
R-1	KN	14.872	0.404	0.152	20.9	20.4	7.88	29.692	0.908	0.332	25.1	24.5	9.18
	SH	14.970	0.544	0.195	23.5	19.1	6.82	30.220	1.199	0.431	24.5	17.8	6.44
	ST	14.978	0.340	0.123	25.8	17.1	6.16	30.123	0.978	0.362	30.8	21.8	8.04
	平均	14.940	0.429	0.157	23.4	18.9	6.95	30.012	1.028	0.375	26.8	21.4	7.89
R-2	KN	15.037	0.346	0.123	22.1	21.5	7.77	30.320	0.863	0.313	23.5	25.1	9.12
	SH	15.066	0.422	0.152	23.4	18.4	6.82	30.237	0.961	0.358	22.6	20.5	7.26
	ST	15.080	0.344	0.125	25.5	20.1	7.23	30.321	0.834	0.305	27.4	20.1	7.38
	平均	15.061	0.371	0.133	23.7	20.0	7.27	30.293	0.886	0.325	24.5	21.9	7.92

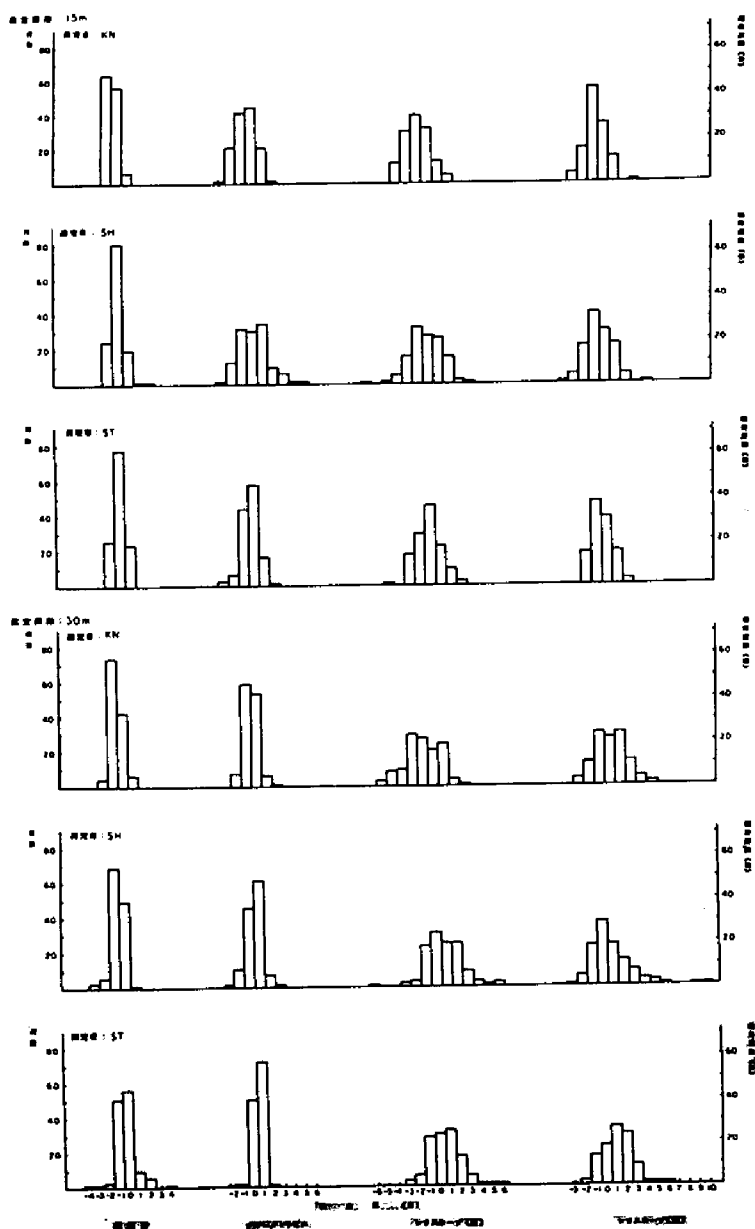


図-3 測定誤差率のヒストグラム

(1) 距離測定誤差

分散分析表にまとめると次のとおりである。

表-3 分散分析表 (距離測定誤差)

要 因	平 方 和	自 由 度	分 散	F ₀
測 定 者 A	0.5023	2	0.2512	6.59 **
器 械 B	13.1179	3	4.3726	114.8 **
距 離 C	24.9724	1	24.9724	655.4 **
群 (日) D	7.5353	24	0.3140	82.4 **
繰 返 し R	0.2345	4	0.0586	1.54
A × B	0.8389	6	0.1398	3.67 **
A × C	0.0421	2	0.0211	0.55
A × D	1.3593	48	0.0283	0.74
A × R	0.0793	8	0.0099	0.26
B × C	7.3765	3	2.4588	645.4 **
B × D	10.3622	72	0.1439	3.78 **
B × R	0.5569	12	0.0464	1.22
C × D	5.2155	24	0.2173	5.70 **
C × R	0.0592	4	0.0148	0.39
D × R	4.6563	96	0.0485	1.27
誤 差 E	102.6153	2690	0.0381	
計	179.5239	2999		

註) * は危険率 5 %, ** は危険率 1 % で有意差あることを示す。

この分散分析で有意差を示した測定者、器械、距離、群 (日)、測定者×器械、器械×距離、器械×群および距離×群について検討してみる。

表-4 分散分析補助表 (1)

測定者 器械	KN	SH	ST	計
D	-19.89	-21.77	-22.60	-64.26
B	-18.35	- 3.11	-19.17	-40.63
R-1	23.47	19.09	6.52	49.08
R-2	11.09	16.17	14.00	41.26
計	- 3.68	10.38	-21.25	-14.55

表-5 分散分析補助表 (2)

距離 器械	15m	30m	計
D	- 59.08	- 5.18	-64.26
B	- 27.77	-128.6	-40.63
R-1	- 22.47	71.55	49.08
R-2	- 34.81	70.07	41.26
計	-144.13	129.58	-14.55

表-6 分散分析補助表 (3)

群 器械	D	B	R-1	R-2	計
D ₁	- 1.47	0.25	4.63	18.13	21.54
D ₂	- 2.74	- 0.49	10.86	6.60	14.23
D ₃	- 3.73	- 1.42	3.97	2.64	1.46
D ₄	- 1.88	- 1.66	2.24	- 1.56	- 2.86
D ₅	- 3.79	- 0.88	0.80	0.91	- 2.96
D ₆	- 2.93	- 2.85	4.77	3.58	2.57
D ₇	- 2.25	- 2.09	3.57	0.78	0.01
D ₈	- 2.82	- 1.40	1.54	0.86	- 1.82
D ₉	- 2.56	- 2.06	1.97	1.26	- 1.39
D ₁₀	- 1.48	- 1.86	0.78	0.82	- 1.74
D ₁₁	- 3.92	- 1.26	0.50	2.35	- 2.23
D ₁₂	- 3.50	- 3.24	0.83	1.01	- 4.90
D ₁₃	- 1.94	- 2.62	2.30	3.30	1.04
D ₁₄	- 2.97	- 2.25	2.96	- 0.29	- 2.55
D ₁₅	- 2.94	0.23	1.99	0.75	0.03
D ₁₆	- 1.77	- 0.53	1.94	0.38	0.02
D ₁₇	- 3.14	- 1.09	0.43	- 0.43	- 4.23
D ₁₈	- 1.89	- 2.34	2.57	0.72	- 0.94
D ₁₉	- 3.04	- 1.30	- 0.91	2.16	- 3.09
D ₂₀	- 2.06	- 1.64	1.20	- 0.19	- 2.69
D ₂₁	- 1.81	- 0.82	- 0.58	0.37	- 2.84
D ₂₂	- 2.23	- 1.76	1.86	- 0.48	- 2.61
D ₂₃	- 3.12	- 2.55	- 0.92	- 0.94	- 7.53
D ₂₄	- 2.50	- 1.77	0.88	- 0.10	- 3.49
D ₂₅	- 1.78	- 3.23	- 1.10	- 1.37	- 7.48
計	-64.26	-40.63	49.08	41.26	-14.55

そのためには Gap test を利用することにする。

(I) 測定者

$$\text{誤差分散 } \sigma_e^2 = 0.0381$$

任意の2人の測定者間の差の分散：

$$2 \times 4 \times 2 \times 25 \times 5 \times 0.0381$$

$$= 76.20$$

$$\text{差の標準誤差} = \sqrt{76.20}$$

$$= 8.7293$$

$$t_{2690} (0.05) \div 1.96$$

$$\text{故に } \Delta = 8.7293 \times 1.96$$

$$\div 18$$

したがって表-4において任意
の測定者間で18以上の差があ
れば、その差は有意であるとみ
なす。

	KN	SH	ST
KN		—	—
SH	—		*
ST	—	*	

すなわち表-4より次のように
結論できる。

$$SH = KN \quad SH > ST$$

全体としておおむね

$SH > KN > ST$ の関係がみ
られる。

(ii) 測定器械

任意の2種の器械間の差の分散：

$$2 \times 3 \times 2 \times 25 \times 5 \times 0.0381$$

$$= 57.15$$

$$\text{差の標準誤差} = \sqrt{57.15} = 7.5598$$

$$\Delta = 7.5598 \times 1.96 \div 15$$

表-7 分散分析補助表 (4)

群	距離	15m	30m	計
D ₁	—	3.61	25.15	21.54
D ₂	—	4.05	18.28	14.23
D ₃	—	5.41	6.87	1.46
D ₄	—	6.80	3.94	- 2.86
D ₅	—	5.16	2.20	- 2.96
D ₆	—	6.00	8.57	2.57
D ₇	—	6.37	6.38	0.01
D ₈	—	5.62	3.80	- 1.82
D ₉	—	7.25	5.86	- 1.39
D ₁₀	—	7.22	5.48	- 1.74
D ₁₁	—	6.32	3.99	- 2.33
D ₁₂	—	6.20	1.30	- 4.90
D ₁₃	—	6.29	7.33	1.04
D ₁₄	—	6.54	3.99	- 2.55
D ₁₅	—	3.66	3.69	0.03
D ₁₆	—	4.55	4.57	0.02
D ₁₇	—	5.62	1.39	- 4.23
D ₁₈	—	4.51	3.57	- 0.94
D ₁₉	—	5.03	1.94	- 3.09
D ₂₀	—	5.44	2.75	- 2.69
D ₂₁	—	6.70	3.86	- 2.84
D ₂₂	—	6.19	3.58	- 2.61
D ₂₃	—	7.42	- 0.11	- 7.53
D ₂₄	—	5.77	2.28	- 3.49
D ₂₅	—	6.40	- 1.08	- 7.48
計		-144.13	129.58	-14.55

	D	B	R-1	R-2
D		*	*	*
B	*		*	*
R-1	*	*		—
R-2	*	*	—	

すなわち

$$R-1 = R-2 > B > D$$

(iii) 測定距離

$$2 \text{ つの距離間の差の分散} : 2 \times 3 \times 4 \times 25 \times 5 \times 0.0381 = 114.30$$

$$\text{差の標準誤差} = \sqrt{114.30} = 10.6911$$

$$\Delta = 10.6911 \times 1.96 \div 21$$

	15m	30m
15m		*
30m	*	

すなわち

$$30m > 15m$$

表-5 から 2 つの距離間でそれぞれの差は
有意である。

(iv) 群

$$\text{任意の 2 つの群間の差の分散} : 2 \times 3 \times 4 \times 2 \times 5 \times 0.0381 = 9.144$$

$$\text{差の標準誤差} = \sqrt{9.144} = 3.0239$$

$$\Delta = 3.0239 \times 1.96 \div 6$$

表-6 から おおよそ次のようにいえる。

$$D_1 > D_2 > D_6 = D_8 = D_{13} = D_{15} = D_{16} = D_7 = D_{18} = D_9 = D_{10} =$$

$$D_8 = D_{11} = D_{14} = D_{22} = D_{20} = D_{21} = D_4 = D_5 = D_{19} = D_{24} >$$

$$D_{17} = D_{12} > D_{25} = D_{23}$$

(v) 測定者別にみた器械間の変動

同一測定者内での任意の 2 種の器械間の差の分散 :

$$2 \times 2 \times 25 \times 5 \times 0.0381 = 19.05$$

$$\text{差の標準誤差} = \sqrt{19.05} = 4.3646$$

$$\Delta = 4.3646 \times 1.96 \div 9$$

表-4 より次のように推論される。

測定者 KN : R-1 > R-2 > B = D
 SH : R-1 = R-2 > B > D
 ST : R-2 = R-1 > B = D

(V) 器械別にみた距離間の変動

同一器械内での2つの距離間の差の分散 :

$$2 \times 3 \times 25 \times 5 \times 0.0381 = 2858$$

$$\text{差の標準誤差} = \sqrt{2858} = 53.456$$

$$\Delta = 53.456 \times 1.96 \div 11$$

すなわち

測定器械 D : 30m > 15m
 B : 30m > 15m
 R-1 : 30m > 15m
 R-2 : 30m > 15m

(VI) 器械別にみた群間の変動

同一器械内での任意の2つの群間の差の分散 :

$$2 \times 3 \times 2 \times 5 \times 0.0381 = 22860$$

$$\text{差の標準誤差} = \sqrt{22860} = 151.20$$

$$\Delta = 151.20 \times 1.96 \div 3$$

すなわち大略的に次のように結論できる(表-6参照)。

測定器械 D : 有意差なし

B : $D_1 = D_{15} = D_2 = D_{16} = D_{21} = D_5 = D_{17} = D_{11} =$
 $D_{19} = D_8 = D_3 = D_{20} = D_4 = D_{22} = D_{24} = D_{10} =$
 $D_9 = D_7 = D_{14} = D_{18} = D_{23} = D_{13} > D_6 = D_{25} =$
 D_{12}

R-1 : $D_2 > D_6 = D_1 = D_3 = D_7 > D_{14} = D_{18} = D_{13} =$
 $D_4 = D_{15} = D_9 = D_{16} = D_{22} = D_8 = D_{20} = D_{24} =$
 $D_{12} = D_5 = D_{10} = D_{11} = D_{17} = D_{21} = D_{19} = D_{23} =$
 D_{25}

R-2 : $D_1 > D_2 > D_6 = D_{15} = D_3 = D_{11} > D_{19} = D_9 =$
 $D_{12} = D_5 = D_8 = D_{10} = D_7 = D_{16} = D_{18} = D_{13} =$

$$D_{21}=D_{24}=D_{20}=D_{14}=D_{17}=D_{22}=D_{23}=D_{25}=D_4$$

(vii) 距離別にみた群間の変動

同一距離内での任意の2つの群間の差の分散：

$$2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 0.0381 = 4.5720$$

$$\text{差の標準誤差} = \sqrt{4.5720} = 2.1382$$

$$\Delta = 2.1382 \times 1.96 = 4.19$$

表-7から明らかなように

距離 15m : 有意差なし

$$\begin{aligned} 30m : D_1 > D_2 > D_6 = D_{13} = D_8 = D_7 > D_9 = D_{10} = D_{16} = \\ D_{11} = D_{14} = D_4 = D_{21} = D_5 = D_{15} = D_{22} = D_{18} = D_{20} = \\ D_{24} = D_3 = D_{19} = D_{17} = D_{12} = D_{23} = D_{25} \end{aligned}$$

(2) 測定所要時間

分散分析表にまとめると表-8のようになる。

表-8 分散分析表 (測定所要時間)

要 因	平 方 和	自 由 度	分 散	F ₀
測 定 者 A	5058	2	2529.0	44.06 **
器 械 B	127068	3	42356.0	737.9 **
距 離 C	3756	1	3756.0	65.44 **
群 (日) D	59536	24	2480.7	43.22 **
繰 返 し R	1450	4	362.5	6.32 **
A × B	3927	6	654.5	11.40 **
A × C	856	2	428.0	7.46 **
A × D	16321	48	340.0	5.92 **
A × R	518	8	64.8	1.13
B × C	655	3	218.3	3.80 **
B × D	10285	72	142.8	2.49 **
B × R	3112	12	259.3	4.52 **
C × D	3456	24	144.0	2.51 **
C × R	411	4	102.8	1.79
D × R	4912	96	51.2	0.89
誤 差 E	154314	2690	57.4	
計	395635	2999		

表-9 分散分析補助表 (1)

測定者 器械	KN	SH	ST	計
D	- 328	-1420	- 599	-2347
B	-2338	-2716	-2332	-7386
R-1	1007	1245	2304	4556
R-2	963	1007	1892	3862
計	- 696	-1884	1265	-1315

表-10 分散分析補助表 (2)

測定者 器械	KN	SH	ST	計
15m	- 923	-1167	- 246	-2336
30m	227	- 717	1511	1021
計	- 696	-1884	1265	-1315

表-11 分散分析補助表 (3)

測定者 群	KN	SH	ST	計
D ₁	390	268	547	1205
D ₂	354	41	252	647
D ₃	551	- 22	172	701
D ₄	382	4	303	689
D ₅	368	- 91	167	444
D ₆	306	29	130	465
D ₇	214	155	88	457
D ₈	152	65	76	293
D ₉	143	154	83	380
D ₁₀	- 31	- 21	175	123
D ₁₁	- 99	- 56	- 30	- 185
D ₁₂	- 132	- 52	26	- 158
D ₁₃	- 129	- 143	60	- 212
D ₁₄	- 153	- 84	68	- 169
D ₁₅	- 162	- 190	- 30	- 382
D ₁₆	- 204	- 187	- 20	- 411
D ₁₇	- 269	- 221	- 26	- 516
D ₁₈	- 270	- 154	20	- 404
D ₁₉	- 371	- 189	- 77	- 637
D ₂₀	- 280	- 122	- 121	- 523
D ₂₁	- 295	- 172	- 165	- 632
D ₂₂	- 246	- 253	- 78	- 577
D ₂₃	- 272	- 250	- 131	- 653
D ₂₄	- 307	- 228	- 84	- 619
D ₂₅	- 336	- 165	- 140	- 641
計	- 696	-1884	1265	-1315

表-15 分散分析補助表 (7)

距離 群	15m	30m	計
D ₁	519	686	1205
D ₂	354	293	647
D ₃	139	562	701
D ₄	393	296	689
D ₅	230	214	444
D ₆	99	366	465
D ₇	92	365	457
D ₈	- 5	298	293
D ₉	163	217	380
D ₁₀	- 34	157	123
D ₁₁	- 287	102	- 185
D ₁₂	- 145	- 13	- 158
D ₁₃	- 231	19	- 212
D ₁₄	- 177	8	- 169
D ₁₅	- 256	- 126	- 382
D ₁₆	- 245	- 166	- 411
D ₁₇	- 289	- 227	- 516
D ₁₈	- 267	- 137	- 404
D ₁₉	- 358	- 279	- 637
D ₂₀	- 253	- 270	- 523
D ₂₁	- 319	- 313	- 632
D ₂₂	- 343	- 234	- 577
D ₂₃	- 391	- 262	- 653
D ₂₄	- 330	- 289	- 619
D ₂₅	- 395	- 246	- 641
計	-2336	1021	-1315

表-12 分散分析補助表 (4)

器械 距離	D	B	R-1	R-2	計
15m	-1634	-4098	1626	1770	-2336
30m	-713	-3288	2930	2092	1021
計	-2347	-7386	4556	3862	-1315

表-13 分散分析補助表 (5)

器械 群	D	B	R-1	R-2	計
D ₁	132	-60	706	427	1205
D ₂	75	-238	441	369	647
D ₃	35	-174	506	334	701
D ₄	57	-161	536	257	689
D ₅	-49	-177	381	289	444
D ₆	-38	-170	380	293	465
D ₇	43	-219	322	311	457
D ₈	32	-242	219	284	293
D ₉	57	-228	330	221	380
D ₁₀	-69	-300	265	227	123
D ₁₁	-115	-298	133	95	-185
D ₁₂	-96	-325	94	169	-158
D ₁₃	-89	-358	122	113	-212
D ₁₄	-169	-345	119	226	-169
D ₁₅	-166	-342	47	79	-382
D ₁₆	-193	-325	16	91	-411
D ₁₇	-193	-394	35	36	-516
D ₁₈	-160	-366	44	78	-404
D ₁₉	-213	-352	-44	-28	-637
D ₂₀	-168	-365	-26	36	-523
D ₂₁	-219	-396	-21	4	-632
D ₂₂	-196	-376	47	-52	-577
D ₂₃	-231	-397	-14	-11	-653
D ₂₄	-223	-409	-9	22	-619
D ₂₅	-191	-369	-73	-8	-641
計	-2347	-7386	4556	3862	-1315

この分散分析で有意差を示した測定者、器械、距離、群、繰返しの合計5つの主効果、
測定者×器械、測定者×距離、測定者×群、器械×距離、器械×群、器械×繰返しおよび

距離×群の合計7つの2因子交互作用について検討した結果を述べる。

表-14 分散分析補助表 (6)

器械 繰返し	D	B	R-1	R-2	計
R ₁	-443	-1455	1368	879	349
R ₂	-474	-1527	1038	899	-64
R ₃	-425	-1543	1053	779	-136
R ₄	-527	-1477	429	839	-736
R ₅	-478	-1384	668	466	-728
計	-2347	-7386	4556	3862	-1315

(i) 測定者

$$\text{誤差分散 } \sigma_{\varepsilon}^2 = 57.4$$

任意の2人の測定者間の差の分散：

$$2 \times 4 \times 2 \times 25 \times 5 \times 57.4 = 114800$$

$$\text{差の標準誤差} = \sqrt{114800} = 338.82$$

$$t_{2680} (0.05) \div 1.96$$

$$\text{故に } \Delta = 338.82 \times 1.96 \div 665$$

以下同様の計算を行ない、 Δ のみを示す。

表-9より次のように結論できる。

	KN	SH	ST	
KN		*	*	ST > KN > SH
SH	*		*	
ST	*	*		

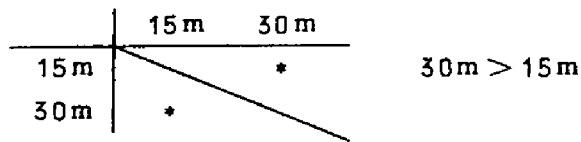
(ii) 測定器械

$$\Delta = 293.43 \times 1.96 \div 576$$

	D	B	R-1	R-2	
D		*	*	*	R-1 > R-2 > D > B
B	*		*	*	
R-1	*	*		*	
R-2	*	*	*		

(iii) 測定距離

$$\Delta = 414.97 \times 1.96 \div 814$$



(iv) 群

$$\Delta = 117.37 \times 1.96 \div 231$$

おおよそ次のようにみなすことができる。

$$\begin{aligned} D_1 > D_3 = D_4 = D_2 > D_6 = D_7 = D_5 = D_9 = D_8 > D_{10} > D_{12} = \\ D_{14} = D_{11} = D_{13} > D_{15} = D_{18} = D_{16} > D_{17} = D_{20} = D_{22} = D_{24} = D_{21} = \\ D_{19} = D_{25} = D_{23} \end{aligned}$$

(v) 繰返し

$$\Delta = 262.45 \times 1.96 \div 515$$

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
R_1		—	—	*	*
R_2	—		—	*	*
R_3	—	—		*	*
R_4	*	*	*		—
R_5	*	*	*	—	

大略的に $R_1 = R_2 > R_3 > R_5 = R_4$

(vi) 測定者別にみた器械間の変動

$$\Delta = 169.41 \times 1.96 \div 333$$

表-9より次のように推論される。

$$\begin{aligned} \text{測定者 KN : } R-1 = R-2 > D > B \\ \text{SH : } R-1 = R-2 > D > B \\ \text{ST : } R-1 > R-2 > D > B \end{aligned}$$

(vii) 測定者別にみた距離間の変動

$$\Delta = 239.58 \times 1.96 \div 470$$

表-10から次のように結論できる。

$$\text{測定者 KN : } 30\text{m} > 15\text{m}$$

SH : 30m \div 15m

ST : 30m $>$ 15m

(vii) 測定者別にみた群間の変動

$$\triangle = 67.76 \times 1.96 \div 133$$

表-11よりほぼ次のようにみなすことができる。

測定者 KN : $D_3 > D_1 = D_4 = D_5 = D_2 = D_6 > D_7 = D_8 = D_9 >$
 $D_{10} > D_{11} = D_{13} = D_{12} = D_{14} = D_{15} > D_{16} > D_{22} = D_{17} =$
 $D_{18} = D_{23} = D_{20} = D_{21} = D_{24} > D_{25} > D_{19}$

SH : $D_1 > D_7 = D_9 > D_8 = D_2 = D_6 = D_4 = D_{10} = D_3 >$
 $D_{12} = D_{11} = D_{14} = D_5 > D_{20} = D_{13} = D_{18} = D_{25} = D_{21} =$
 $D_{16} = D_{19} = D_{15} > D_{17} = D_{24} = D_{23} = D_{22}$

ST : $D_1 > D_4 > D_2 > D_{10} = D_3 = D_5 = D_6 > D_7 = D_9 =$
 $D_8 = D_{14} = D_{13} > D_{12} = D_{18} > D_{16} = D_{17} = D_{11} = D_{15} >$
 $D_{19} = D_{22} = D_{24} > D_{20} = D_{23} = D_{25} = D_{21}$

(ix) 器械別にみた距離間の変動

$$\triangle = 207.48 \times 1.96 \div 407$$

表-12より

測定器械 D : 30m $>$ 15m

B : 30m $>$ 15m

R-1 : 30m $>$ 15m

R-2 : 30m = 15m

(x) 器械別にみた群間の変動

$$\triangle = 58.69 \times 1.96 \div 116$$

表-13からおおむね次のようにいえるであろう。

測定器械 D : $D_1 > D_2 = D_4 = D_9 = D_7 = D_3 = D_8 > D_6 =$
 $D_5 = D_{10} = D_{13} = D_{12} = D_{11} > D_{18} = D_{15} = D_{20} =$
 $D_{14} = D_{25} = D_{16} = D_{17} = D_{22} = D_{19} = D_{21} = D_{24} =$
 D_{23}

B : $D_1 > D_4 = D_6 = D_3 = D_5 = D_7 = D_9 = D_2 =$
 $D_8 > D_{11} = D_{10} = D_{12} = D_{13} = D_{15} = D_{14} = D_{19} =$

$$D_{13}=D_{20}=D_{18}=D_{25}=D_{22}=D_{17}=D_{21}=D_{23}=D_{24}$$

$$R-1 : D_1 > D_4 = D_3 > D_2 > D_5 = D_8 = D_9 = D_7 > D_{10} > D_6 > D_{11}=D_{13}=D_{14}=D_{12} > D_{15}=D_{22}=D_{18}=D_{17}=D_{16}=D_{24}=D_{23}=D_{21}=D_{20}=D_{19}=D_{25}$$

$$R-2 : D_1 > D_2 = D_3 = D_7 = D_6 = D_5 = D_8 = D_4 = D_{10}=D_{14}=D_9 > D_{12} > D_{13}=D_{11}=D_{16}=D_{15}=D_{18} > D_{17}=D_{20}=D_{24}=D_{21}=D_{25}=D_{23}=D_{19}=D_{22}$$

(x) 器械別にみた繰返し間の変動

$$\Delta = 13.123 \times 1.96 \div 258$$

表-14から

$$\text{測定器械 } D : R_3 = R_1 = R_2 = R_5 = R_4$$

$$B : R_5 = R_1 = R_4 = R_2 = R_3$$

$$R-1 : R_1 > R_3 = R_2 > R_5 = R_4$$

$$R-2 : R_2 = R_1 = R_4 = R_3 > R_5$$

(x) 距離別にみた群間の変動

$$\Delta = 82.99 \times 1.96 \div 163$$

表-15からほぼ次のように推論される。

$$\text{測定距離 } 15\text{m} : D_1 > D_4 = D_2 > D_5 > D_9 = D_3 = D_6 = D_7 > D_8 = D_{10} > D_{12}=D_{14} > D_{13}=D_{16}=D_{20}=D_{15}=D_{18}=D_{11}=D_{17}=D_{21}=D_{24}=D_{22}=D_{19} > D_{23}=D_{25}$$

$$30\text{m} : D_1 > D_3 > D_6 = D_7 > D_8 = D_4 = D_2 > D_9 = D_5 > D_{10} > D_{11} > D_{13}=D_{14}=D_{12} > D_{15}=D_{18}=D_{16} > D_{17}=D_{22}=D_{25}=D_{23}=D_{20}=D_{19}=D_{24}=D_{21}$$

(3) 考 察

上述の分散分析によって〔実験2〕の距離測定誤差および測定時間について、各要因に

よる測定値間の系統的偏りが明らかにされたので、それぞれ要因別に考察を加えることとした。

(i) 距離測定誤差

測定者要因：

測定を担当した3人の間には測定誤差に差が認められる。本実験に先立ち、各人ともに4種の器械を用いて正確な測定値が得られるようそれぞれの視準方法を固定する練習を積んだのである。器械によって視準方法に多少の違いはあるにしても、いずれも対象物を光学的にとらえることによって測定するのであるから、視準に各人固有の癖があれば、それがそのまま結果として現われること、および手持ち測定のためあるいは器械によっては視度調整式でないための影響が上述の結果を招いたものと考えられる。測定者としてSTが最も偏り少なく安定した結果を示し、KNがこれにつき、SHは最も大きな偏りを示している。

測定者と器械とを関連せしめて考察すると、器械に対してそれぞれ得手・不得手があるように思われる。すなわち2種のレラスコープの間に差が認められる者1名(KN)、認められない者2名(SH, ST)、一方ブルーメ・ライスと距離計の間に有意差のある者1名(SH)、認められない者2名(KN, SH)となり、3人3様である。機構的には全く同じである2種のレラスコープを用いて、その間に差が認められ、しかもR-1の方が誤差も大きいということは、角度による水平距離補正がなされないままで測定を行ったり、あるいは視準線を一度水平にした後器械を横位置にする際に不注意から尺度輪の制動ボタンに手を触れて補正が施されなくなったりすることも原因の一つと考えられるが、断定することはできない。一般にレラスコープ2種とブルーメ・ライス、距離計とでは視準方法にかなりの相違があり、また前者の方が手ぶれの影響を強く受けるので、この2つのグループ間に顕著な差があると考えてさし支えないであろう。

前にも述べたように、樹高測定は距離測定と角度測定に大別できるのであり、今回は前者における誤差のみを取扱ったが、もし角度測定に誤差がないものとすれば——事実上不可能であり、しかも対象木の梢端を見誤る確率はかなり大きいが——、距離測定において過小値が求められたときは過大の樹高を、過大の距離測定値が得られたときは樹高は過小値をとるのであるから、測定者としてはなるべく測定に偏りの少ない者があたるべきであり、また同時に最も得意とする器械に習熟し、これを用いることが必要と考えられる。

器械要因：

2種のレラスコープの間には差は認められないが、これらとブルーメ・ライス、距離計およびブルーメ・ライスと距離計の間には明らかに有意の差が認められた。2つのレラスコープはいずれもある一定幅の測帯で対象の補助板をはさむこと、換言すれば測定対象が定角と一致する点を見出すことによって距離を求めるものであるが、測帯の左右の線を同時に測定補助板の白帯に合致させることはかなり困難で、手持ちによるときは視準が一層不確実になりやすい。したがってこれが他の器械にくらべて精度を悪くしている原因の一つと考えられる。ブルーメ・ライスは定角距離計式、ここで用いた距離計は基線長可変式・上下像合致式であるが、後者の方が視野も明るくまた3倍の拡大鏡が附属品としてついているのでより有利であって、これが差となって現われたものといってもよからう。

次に器械を距離との関連において考察を進めると、いずれも短距離の方が長距離にくらべて精度がよいという結果が得られた。レラスコープは15mの場合と同じ長さの測定補助板を30mのときはその半分の幅の測帯を用いて視準するのであるから、上述の結果が得られるのは当然であり、傾斜地においてはさらに傾斜角の \cosine に比例して測帯の幅が細く（傾斜角 30° では約0.87、 45° では0.71）、水平距離が求められるよう補正が加えられているので慎重な測定が望まれるのである。ブルーメ・ライスでは15mの場合の2倍の間隔を有する距離標識を用いた上での結果であるので、距離計と同じく長い距離では合致点が見出し難く、視準のわずかな差が大きく影響するためと考えられる。

なおこの実験では、中間に障害物が一切ない状態で行なわれたのであるから、林内における場合はこれと機相を異にするものと考えられる。すなわちR-2に対しては特別製の測定補助板を水平に保持し、これを視準する方法——R-1にも準用できる——をとったが、林内において180cmの両端を望みうることはまず不可能で、はるかに短い補助板必然的に狭い測帯を用いる必要があり、ために精度の低下を招くであろうことは容易に想像される。また距離計でも中間に林木があるときは測定困難となりやすいので、森林内での測定ではブルーメ・ライスあるいはR-1方式が有利となることが考えられる。したがってR-2においては樹高測定まで実施するときは、P尺を用いることを考えた方がよいであろう。

距離要因：

上の器械との関連の項において述べたとおりであって、30mの方が15mよりも誤差の大きいことの理由は簡単に説明できるであろう。ここでは20mの距離についての測定

はなされていないが、わが国の森林における樹高測定の際の距離として最も多くとられるのは15mあるいは20mであり、ここで得られた結果からしてもこの2つの点のいずれかからする角度測定が望ましいように思われる。もちろん樹高の大きいもの、すなわち仰角の大きなものに対しては角度測定により一層の注意を払わねばならないことはいうまでもない。

群（日）と関連させて考察を試みると、距離15mでは明らかな差は認められないが、30mでは実験当初とくに2日間に誤差が大きくなっていく。これは標準不的確であり、また異常値のチェックともなる目測に慣れていないことに起因するように思われる。

群 要 因：

本実験は雨天以外のいろいろの天候のもとで行なわれたが、毎日の気象についての細かい記録はとっていない。したがって天候と結びつけて考察することは不可能であるが、少なくとも実験開始後2日目までは他と明らかに差があることからして、天候のみと直接関係があるとはいえず、むしろこれは器械使用方法を充分習得しないうちに本実験に入ったことによるものと考えの方が妥当で、また同一器械について延100回程度の測定を行なうことによって、精度の向上が期待されると考えた方がよいように思われる。

器械との関連においてみると、距離計あるいはブルーメ・ライスでは実験の前期中期、後期による差は明らかでないが、レラスコープは2種ともとくに最初の1両日の誤差が大きく、当該器械の使用にあたっては充分練習を積む必要があることを如実に示すとともに、未経験者には前2種を推奨すべきことを明確に示している。

(II) 測定所要時間

表-1（その2）に示した林分における4人の測定者の樹高測定作業の時間分析をした結果を要素別に分類して掲げると表-16のようになる。

使用器械により測定所要時間に多少の違いはあるが、その中に距離測定時間が占める割合は約15～42%程度であって、とくにレラスコープの場合は大きく、時間の問題を論じないでおくことはできず、〔実験2〕の結果によって実証することとした。

測定者要因：

3人の測定者の間では、それぞれ測定に要する時間に有意の差が認められた。すなわちSHが最も短い時間で、ついでKNが、STは最も多くの時間を必要とすることがわかった。これは測定誤差の大小と全く反対の関係にあり、興味のあることであるが、器械の構造、視準方法などからすれば、むしろこれは各人固有の性格に由来するものと考えた方が

表-16 樹高測定作業の時間分析

器 種	測 定 者	測 定 時 間 (分)				
		移 動	距離測定	角度測定	そ の 他	合 計
ワイ ゼ 測 高 器	A	11.6	10.7	18.0	6.7	47.0
	B	18.4	3.9	18.9	4.7	45.9
	C	11.0	9.3	17.3	9.7	47.3
	D	20.3	4.8	22.0	5.9	53.0
	平均	15.3 (31.7)	7.2 (14.9)	19.0 (39.3)	6.8 (14.1)	48.3
ブ ル ー メ ・ 高 ラ イ ス 器	A	8.1	11.9	10.8	3.0	33.8
	B	9.1	9.5	13.7	1.9	34.2
	C	8.7	9.2	13.3	4.8	36.0
	D	12.0	10.0	14.6	2.0	38.6
	平均	9.5 (26.6)	10.2 (28.6)	13.1 (36.7)	2.9 (8.1)	35.7
レ ラ ス コ ー プ	A	8.1	15.8	14.0	2.8	40.8
	B	7.4	19.2	16.8	1.3	44.7
	C	7.3	22.0	14.4	7.3	51.0
	D	12.6	23.6	16.5	2.0	54.7
	平均	8.9 (18.6)	20.2 (42.3)	15.4 (32.2)	3.3 (6.9)	47.8

註) その他には打合わせ・手持ち・用途などが含まれる。

() 内は要素別百分率

ワイゼ、ブルーメ・ライスの距離測定は巻尺使用

よさそうである。

測定者と器械との関連において、われわれは距離測定誤差において認められたのとよく似た関係のあるのに気づくのである。すなわち一般的にいって測定者のいずれもがレラスコープ2種の測定に要する時間は、距離計よりも多く、ブルーメ・ライスよりはるかに大きいという事実である。ただしここでは距離計とブルーメ・ライスの順位が誤差の場合の逆になっている。なおSTのみはレラスコープの新型よりも旧型の方により時間がかかっているが、旧型は測定に1動作多く要することからして、これがむしろ当然の結果であ

るというべきであろう。距離計を実際に使ってみると、二重像が完全に合致したかどうかの判定に迷うことがブルーメ・ライスよりも多く、再度目盛をスライドさせて確認することもしばしばあるので、これが両者の間に有意差を生ぜしめた原因の一つと考えられる。

距離と関連させてみると、測定者KNおよびSTは距離30mの場合、15mにくらべて長時間を費して測定を終えているが、SHはほとんど変りのない時間となっている。普通目測によって目的とする距離をほぼ得た後で器械を用いた測定に入るのであるから、15mにくらべて30mの方が目測も難しく、当然時間も多くなると考えられるが、SHただ1人はこの常識外にあり、これは測定者別にみた距離間の測定誤差の変動では有意差が認められなかったことからして、測定者個人の特性によるものと考えらるべきであろう。

群と関連づけて考察を加えると、各測定者ともに日数の経過につれてすみやかに測定を終えている。このような単純作業においては当然の帰結であろうが、ただ測定者によってその適応のしかたは多少異なり、KNが最も著しく、あとST、SHの順にならぶ。一般的にみて実験開始後15～20日を経てはじめてほぼ定まった時間内で作業を終了することを表から知ることができる。

器械要因：

ブルーメ・ライスが最も使いやすく、距離15mにおいては距離計の約 $\frac{1}{2}$ 、レラスコープ2種の約 $\frac{1}{3}$ の時間で、30mでは他器種との差は多少少なくなるが、いずれよりも短い時間で目的を達することが示された。視準する上において、2点合致式よりも4点合致式が困難であることはいうまでもなく、前者に相当するブルーメ・ライスあるいは距離計の方が後者に属するレラスコープ2種よりも有利であることは自明の理である。

R-2において有意でなかった以外は、すべての器械で30mの方が15mよりも多くの時間——普通15～30分増——を必要とすることが認められた。

群と関連させて考えてみると、ブルーメ・ライスは1両日で視準に慣れ、10日も経てば後はほとんど変りない時間で作業を進めることができ、距離計を用いてほぼ一定の時間で仕事を行なうには10～15日程度を要するのに対し、レラスコープ2種では徐々に慣れて能率よく測定を進めることができるようになるが、ある日に誤って突然多くの時間がかかるという不測の事態を招くことがあり、未経験者にとっては前2種が使いやすい器械であるといえよう。

また1日の中でも、ブルーメ・ライスと距離計は毎回ほとんど変りのない時間で測定できるのに反し、レラスコープ2種はいずれも一般的にみてその日最初に行なう方が多くの

時間を費し、習熟し難い器械であることを示していることは、当該機の採用にあたってはとくに留意すべき事項であらう。

距離要因：

他の要因との関連において何度も指摘してきたように、測定距離の違いによって測定時間は大幅に変化する。

15mの場合には日が経つにつれて比較的早く定常値をとるに至るが、30mでは実験の後半に入ってから安定するので、暗い森林内では一層視準に手間取るものと考えられる。

群 要 因：

これまでに触れてきたとおり、器械および使用方法に慣れることが所要時間の短縮につながるが、全体的にみて2、3日の練習では不十分で、より多くの日数を必要とするとは明らかである。

繰返し要因：

分散分析の結果からも明らかなように、大略的にみてその日の第1回の測定よりは最終回のそれが短い時間で終り、次の日、その次の日も同じ経過をたどって全体として慣れが進むものと考えられる。

(iii) ま と め

測定誤差、測定時間の項で認められたように、機構的に異なるレラスコープ旧型、新型の2器種とブルーメ・ライスおよび距離計の2種の間にはともにはっきりした差があり、後者のグループ内でも構造の面で違いがあれば、それがそのまま結果の相違となって現われてきている。

本実験は最も条件の良い状態の下で実施されたものであるから、ここで得られた結果をそのままの形で森林内にもち込むことは多少危険かも知れないが、一応の推論を試みてみよう。

平地あるいは緩傾斜地において、誤差を極力小さく、また迅速に距離測定を行なおうとする場合には、ブルーメ・ライス附属の距離計——ただしある定められた距離以外の測定は不可能である——もしくは距離計が最も適しており、正確度、精度に重点をおくときは後者が、能率よく作業を進める場合には前者が推奨される。また両器種とも未経験者にとって使用方法が簡単で、すぐに使いこなしやすい利点を有するといえよう。

わが国の森林の多くは急傾斜地にあるが、このような場所では上に述べた2器種をもって水平距離を測り、さらに樹高測定に進むことはほとんど不可能で、レラスコープ2種が

効果的である。しかしながらこれまでに何度も指摘してきたとおり、この種の器械は測定誤差を生じやすく、また測定にも時間がかかる上に、習熟するのにかなりの経験・日数が必要とする。したがって未経験者に対しては、事前に使用方法をよく説明し、実際に測定を行なわせて正確な値が常に得られるようになるまで練習を続けさせることが肝要である。また同時に器械の改良例えば像の拡大をはかるアタッチメントの開発とか、また誤差の原因の一つと考えられる手ぶれを防止するために1本脚支柱の採用も検討する必要があるように思われる。

各器械を通じて測定者が測定精度、功程に大きな影響を与えていることも見逃せない。各人固有の癖・性格等が結果を支配しているようにも見受けられるが、この点については現在の段階では的確な説明を加えることはできない。前もって予備実験を行なって適格者を選ぶことが今のところ最もすぐれたしかも唯一の方法であるといえよう。

4. 解析用管理図

(1) はじめに

管理図法とは、管理図を利用して管理を遂行しようとする1つの管理手段である。管理を遂行するための具体的内容は、次の4つのステップをくり返すことである。

- (i) 管理目的に適したデータの収集
- (ii) 管理のための基準の設定
- (iii) データと基準との比較・判定
- (iv) 判定にもとづく処置

このような内容からもわかるように、本法はもともと品質管理のために考え出されたものである。

近代工業の大きな特色としてあげられるものに、一定の規格に合う品質の品物を大量生産するということがある。常に一定の品質をもつ品物を生産することは、品質を決定すべきすべての条件を一定に保つことが必要なことはいうまでもない。しかし原料、機械、器具、工員の技倆、環境などのすべてを一定に保つことは不可能あるいは少くとも困難であり、できうる限り条件を整えてもそこに生産される品物の品質には必ず何がしかの変動が生じる。

品質の変動の原因は大別して偶然的原因と、突き止めうる原因すなわち避けえられる原因との2つに分けられる。偶然的原因とは全体の変動に対しそれぞれ少しずつ寄与する無

数の原因で、これこれの変動はこの原因によるものと指摘しえないものである。これに対し突き止めうる原因とは、実際に技術的に変動の原因が何であるかが突き止められ、それを発見し、それを除くことが必要でもあり、また経済的にも引き合うものである。

広い意味でいえば、品質管理とは規格に合う品物を生産するためにできる限りのあらゆる手段を講ずることであるが、狭い意味では偶然的原因による変動はこれをやむをえないものとして許容し、突き止めうる原因による変動は何としてもこれを除き、それにより生産を標準の状態に安定させ、いわゆる統計的管理状態を保持しようとするのである。

品質管理図はこの要求に基づき Shewhart (1922) により始めて考え出されたもので、ついで化学分析等にとり入れられ、迅速に、安価に、管理しやすい分析法の確立に役立てられることとなったのであるが、本研究でもこの手法を採用し、後に述べるような解析を試みた。

管理図には表-17に示すような種類のものがあるが、ここでは \bar{x} - R 管理図および \bar{x} - σ 管理図によることとして論を進めることにした。

表-17 管理図の種類

	データの種類	管理図 (記号)	理論
計 量 値	長さ、目方、時間、強度、 化学成分、圧力、収率、 原単位、生産量	1. 平均値と範囲の管理図 (\bar{x} -R 管理図) 2. 平均値と標準偏差の管理図 (\bar{x} - σ 管理図) 3. 生データの管理図 (\bar{x} -管理図)	正 規 分 布
計 数 値	製品の不良率 不良個数 単位面積または単位の大 きさあたりの欠点数 単位が異なる場合の欠点 数	4. 不良率管理図 (p -管理図) 5. 不良個数管理図 (p_n -管理図) 6. 欠点数管理図 (c -管理図) 7. 平均欠点数管理図 (u -管理図)	二 項 分 布 ポ ア ソ ン 分 布

管理図とは、統計的に意味をもった管理のための限界線を引いてある一種のグラフである。普通のグラフと違う点は、図-4に見られるように中心線と、その上下に一對の管理限界線を引いてあることであり、この管理限界を目安として工程が管理状態にあるかいかの判定を行なう。もちろん管理図は平均値と同時に、バラツキの変動によって判定すべきものであるので、 \bar{x} -R 管理図あるいは \bar{x} - σ 管理図の場合は2つの管理図を対にして、同時に上下にならべ、そのいずれか一方に限界外打点が現われたら、工程に異常原因が発生したことを示すようにしてある。

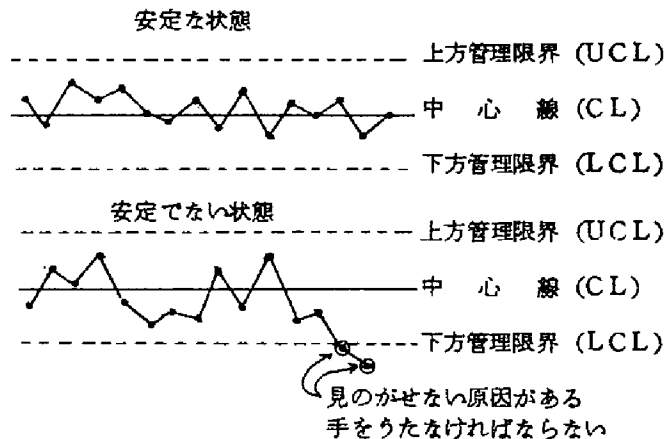


図-4 管理図

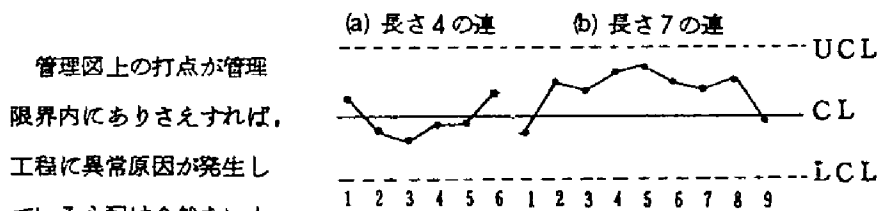


図-5 点が中心線の片側に連続する場合

管理図上の打点が管理
限界内にありさえすれば、
工程に異常原因が発生し
ている心配は全然ないか
といえは必ずしもそうで
はなく、以下に述べるこ
とも判定の基準となる。

(I) 点が中心線の片側に連続する場合

図-5のように、点が中心線の片側に連続して現われることを「連」という。点がまっ
たくランダムであれば、中心線の一方に現われる確率は $\frac{1}{2}$ である。したがって図-5(b)
の場合、 n 1からはじめて n 8の点は

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2^8} = \frac{1}{256}$$

すなわち、このような状態は約300回に1回ぐらいの割合しか起こらない。これは異常
であると判断しても誤る確率は $\frac{1}{300}$ である。そこで片側に7点連続して打点されたら
異常と判断する。これを「7点の連」という。

(II) 点が中心線に対して片側に多く出る場合

連でなくても、中心線の一方の側に点が多く出すぎることも異常である。図-6がそのような場合である。

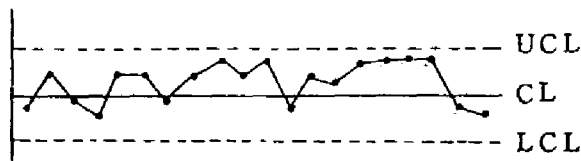


図-6 11点中10点が同じ側にある場合

- (a) 連続11点中、少なくとも10点が片側に出る場合

- (b) 連続14点中、少なくとも12点が片側に出る場合

- (c) 連続17点中、少なくとも14点が片側に出る場合

- (d) 連続20点中、少なくとも16点が片側に出る場合

このような点の現われ方も、連と同程度の確率で起こる。

(iii) 点が引続いて上昇または下降の傾向を示す場合

図-7に示すように、点が引続いて上昇または下降する場合を「傾向」という。判定基準としては、7点連続したら異常とする。

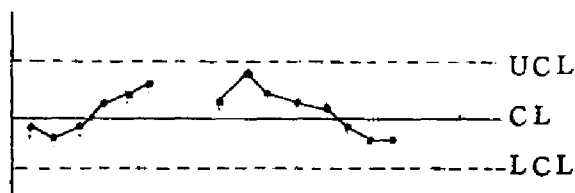


図-7 傾向の例

測定の精度とは、測定誤差の分布のバラツキの幅である

が、測定誤差の分布を規定する条件により、そのバラツキ、精度の技術的意味がかわってくるということに注意しなければならない。たとえば同一サンプルを

- | | |
|-------------------------------------|-----------------|
| ① 同一人が同一日に平行して繰返し測定した場合の精度 | σ_{M1} |
| ② 同一人が別の日に測定した場合の精度 | } σ_{M2} |
| 別の人が別の日に別の器械で測定した場合の精度 等々 | |
| ③ 別の部屋（場所）で、別の人が、別の日に別の器械で測定した場合の精度 | σ_{M3} |

一般に①のように比較的同一の条件で行なった場合の精度を平行精度または繰返し精度、②のように同一室内での別の条件での精度を同一室内での（再現）精度、③のような条件での精度を異室間の（再現）精度という。

(2) 実験結果についての \bar{x} -R管理図および \bar{x} - σ 管理図

〔実験 1〕については測定者別に \bar{x} -R管理図を描くと、図-8～図-11のようになる。〔実験 2〕に関しては測定距離，器械，測定者別に \bar{x} -Rおよび \bar{x} - σ 管理図を描くと、図-12～図-35のようになるが、図の表題には測定距離，器械，測定者の順で記号を書くことにした。たとえば15m，距離計，測定者KNの場合は， \bar{x} -R(σ)管理図〔15-D-KN〕と記載してある。なお \bar{x} -R管理図と \bar{x} - σ 管理図との違いは色の濃淡によって区別することとした。

ここで用いた管理限界の計算，限界係数および計算結果を次に示す。

\bar{x} 管理図

$$\text{上方管理限界UCL} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{またはUCL} = \bar{\bar{x}} + A_1 \bar{s}$$

$$\text{下方管理限界LCL} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

$$\text{またはLCL} = \bar{\bar{x}} - A_1 \bar{s}$$

R 管理図

$$\text{上方管理限界UCL} = D_4 \bar{R}$$

$$\text{下方管理限界LCL} = D_3 \bar{R}$$

表-18からわかるように、nが6以下では D_3 はない。この場合は下部管理限界は考えない。

σ 管理図

$$\text{上方管理限界UCL} = B_4 \bar{s}$$

$$\text{下方管理限界LCL} = B_3 \bar{s}$$

同表からも明らかなように、nが5以下では $B_3=0$ である。したがって下部管理限界は考えない。

表-18 管理図管理限界係数表

群の大きさ	\bar{x} 管理図		R 管理図		σ 管理図	
n	A ₁	A ₂	D ₃	D ₄	B ₃	B ₄
2	3.760	1.880	0	3.267	0	3.267
3	2.394	1.023	0	2.575	0	2.568
4	1.880	0.729	0	2.282	0	2.266
5	1.596	0.577	0	2.115	0	2.089
6	1.410	0.483	0	2.004	0.030	1.970
7	1.277	0.419	0.076	1.924	0.118	1.882
8	1.175	0.373	0.136	1.864	0.185	1.815
9	1.094	0.337	0.184	1.816	0.239	1.761
10	1.028	0.308	0.223	1.777	0.284	1.716

(3) 考 察

〔実験 1〕

本実験は予備調査的性格を有しているが、実際の樹高測定においてはただ1回の測定値だけが記録され、それが正しいものとして用いられるのであるから、測定誤差を極力小さくすることに心がけるべきであることはいうまでもない。したがってここでは4名の測定者間に正確度、平行精度および再現精度のちがいが認められるかどうかに関心を合わせて考察を加えることとした。なお各群3回の測定でもあり、また標準偏差を計算することは現場では困難であることが多いので、 \bar{x} -R管理図しか作成しなかった。

まず正確度についてであるが、測定平均値の真値からの偏りはA 4cm、B 28cm、C 8cm、G 19cmとなって、Aが最もすぐれ、ついでC、Gであり、Bは最も悪い結果となっている。しかしこの値だけをもって、測定者の正確度、精度を論ずることは上記の理由からして不合理であるので、さらに各人の平行精度、再現精度について検討してみた。というのはこの実験の性質上測定者にはその時々測定値を知らせてないので、各人自分が正しいと思う視準方法をとっている。したがってもしその読みに誤りがあると指摘された場合、真値からの偏りがかなり大きなものでも、平行精度・再現精度が良ければ視準方法を修正することによって充分正確な値を読みとりうるようになるからである。

表-19 $\bar{x} - R$, $\bar{x} - \sigma$ 管理図管理限界 (実験 2)

管理限界 距離		$\bar{x} - R$ 管理図				$\bar{x} - \sigma$ 管理図								
		\bar{x}		R		\bar{x}		σ						
		$\bar{\bar{x}}$	$A_2 \bar{R}$	LCL	UCL	\bar{R}	UCL	$\bar{\bar{x}}$	$A_1 \bar{s}$	LCL	UCL	\bar{s}	UCL	
15m	D	KN	14936	0.083	14853	15019	0.144	0.305	14936	0.083	14853	15019	0.052	0.109
		SH	15005	0.106	14899	15111	0.184	0.389	15005	0.105	14900	15110	0.066	0.138
		ST	14997	0.084	14913	15081	0.146	0.309	14997	0.085	14912	15082	0.053	0.111
	B	KN	15074	0.169	14905	15243	0.293	0.620	15074	0.168	14906	15242	0.105	0.219
		SH	15177	0.287	14890	15464	0.497	1.051	15177	0.294	14883	15471	0.184	0.384
		ST	15103	0.126	14977	15229	0.219	0.463	15103	0.128	14975	15231	0.080	0.167
	R-1	KN	14872	0.233	14639	15105	0.404	0.854	14872	0.243	14629	15115	0.152	0.316
		SH	14970	0.314	14656	15284	0.544	1.151	14970	0.311	14659	15281	0.195	0.407
		ST	14978	0.196	14782	15174	0.340	0.719	14978	0.196	14782	15174	0.123	0.257
	R-2	KN	15037	0.200	14837	15237	0.346	0.732	15037	0.196	14841	15233	0.123	0.257
		SH	15066	0.243	14823	15309	0.422	0.893	15066	0.243	14823	15309	0.152	0.318
		ST	15080	0.198	14882	15278	0.344	0.728	15080	0.200	14880	15280	0.125	0.261
30m	D	KN	29815	0.139	29676	29954	0.241	0.510	29815	0.140	29675	29955	0.088	0.184
		SH	29799	0.186	29601	29997	0.322	0.681	29799	0.187	29612	29986	0.117	0.244
		ST	29913	0.242	29671	30155	0.419	0.886	29913	0.241	29672	30154	0.151	0.315
	B	KN	30141	0.212	29929	30353	0.368	0.778	30141	0.214	29927	30355	0.134	0.280
		SH	30155	0.304	29851	30459	0.526	1.112	30155	0.298	29857	30453	0.187	0.391
		ST	30159	0.183	29976	30342	0.318	0.673	30159	0.177	29982	30336	0.111	0.232
	R-1	KN	29692	0.524	29168	30216	0.908	1.920	29692	0.530	29162	30222	0.332	0.694
		SH	30220	0.692	29528	30912	1.199	2.536	30220	0.688	29532	30908	0.431	0.900
		ST	30123	0.564	29559	30687	0.978	2.068	30123	0.578	29545	30701	0.362	0.756
	R-2	KN	30320	0.498	29822	30818	0.863	1.825	30320	0.500	29820	30820	0.313	0.654
		SH	30237	0.554	29683	30791	0.961	2.033	30237	0.571	29666	30808	0.358	0.748
		ST	30321	0.481	29840	30802	0.834	1.764	30321	0.487	29834	30808	0.305	0.637

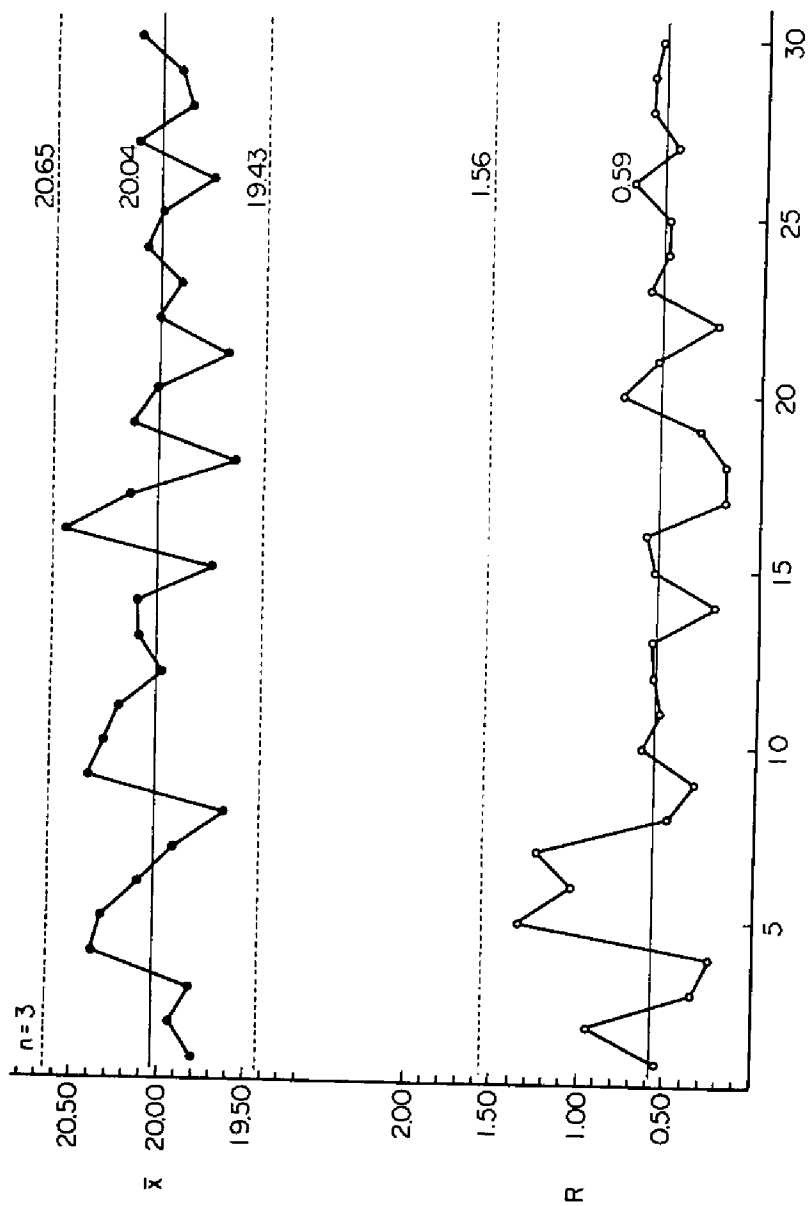


图-8 $\bar{x} - R$ 管理图 (测定者A)

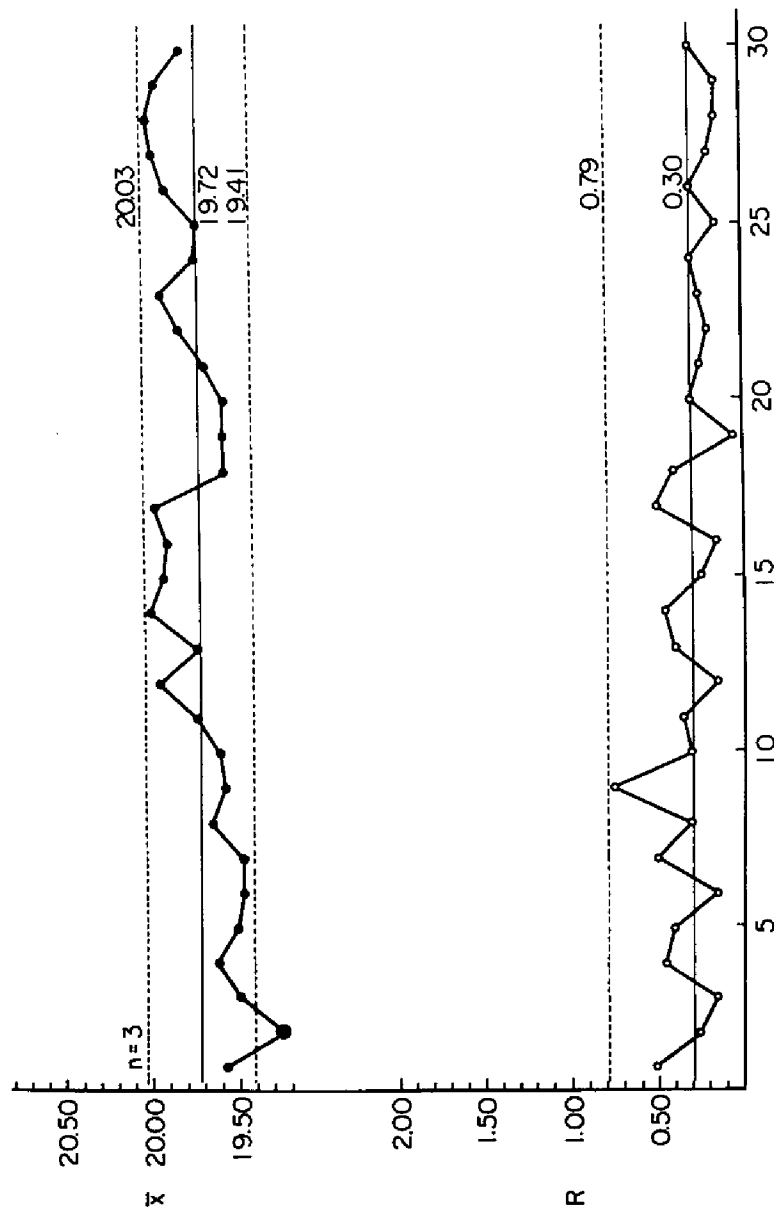


图-9 $\bar{x} - R$ 管理图 (测定者B)

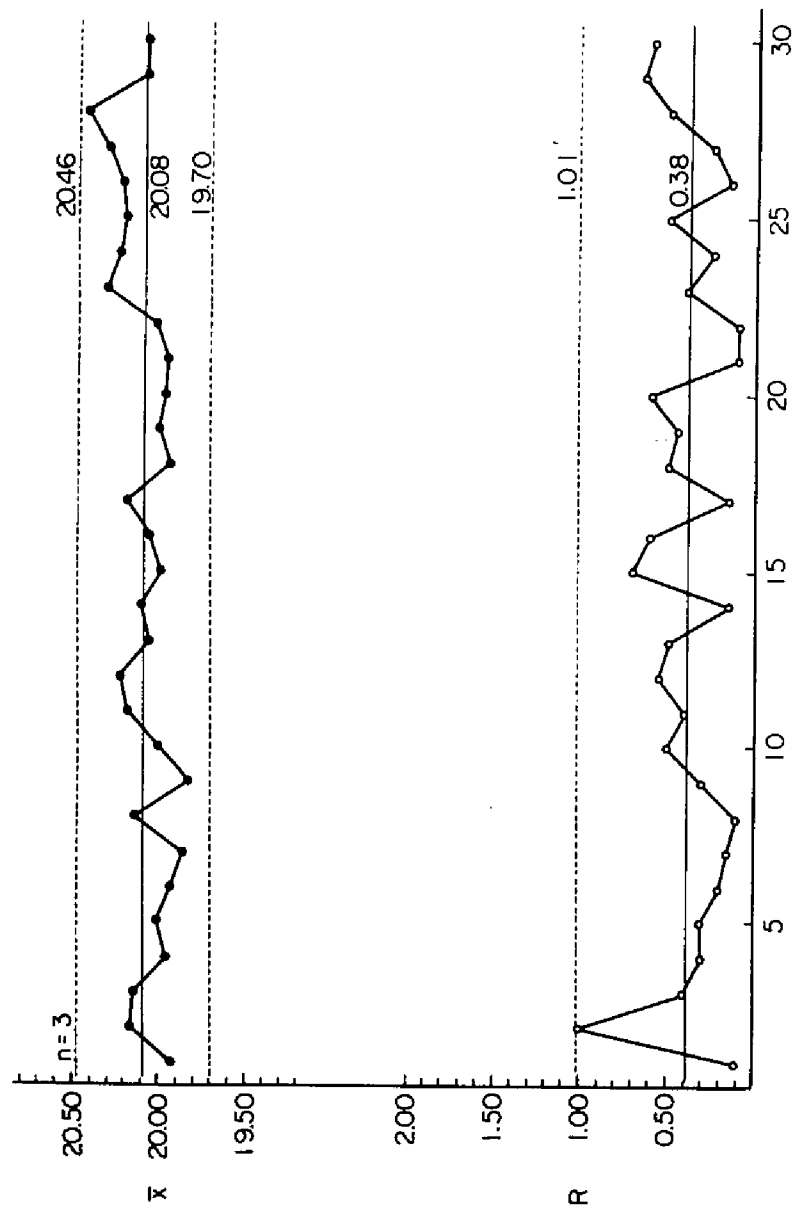


图-10 $\bar{x}-R$ 管理图 (测定者 C)

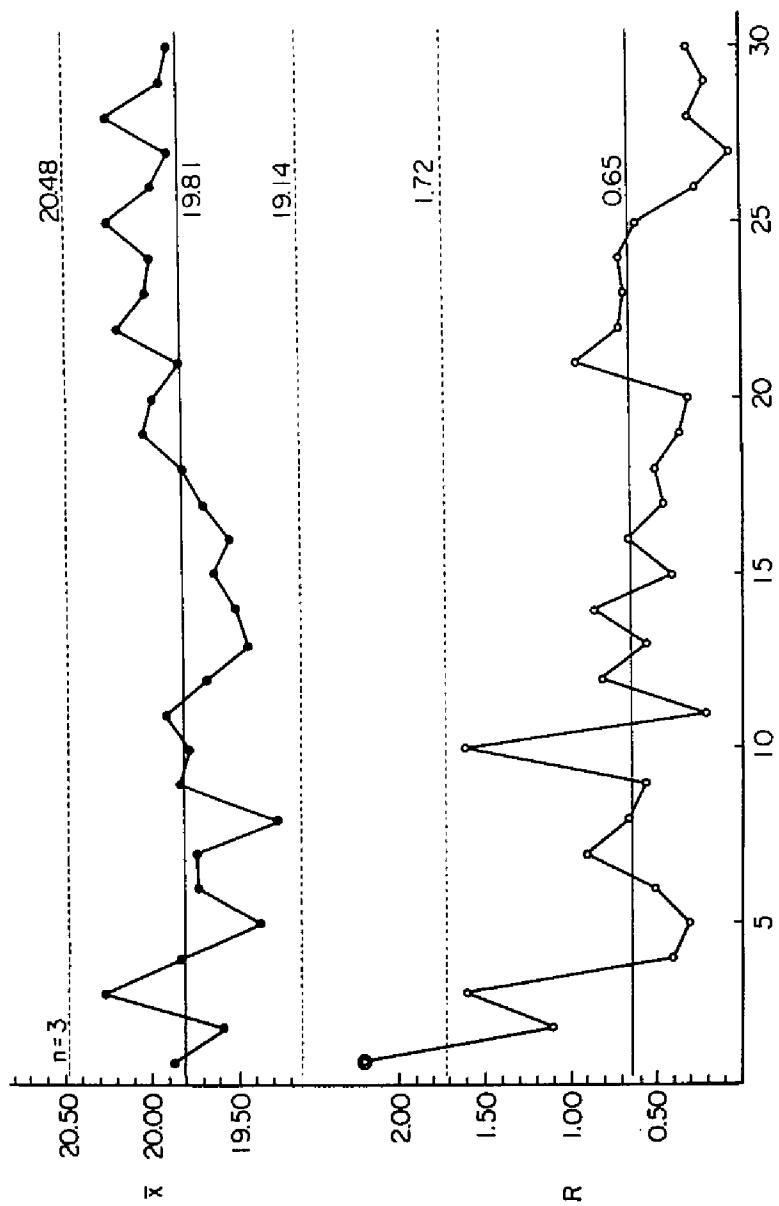


图-11 $\bar{X}-R$ 管理图 (测定者 G)

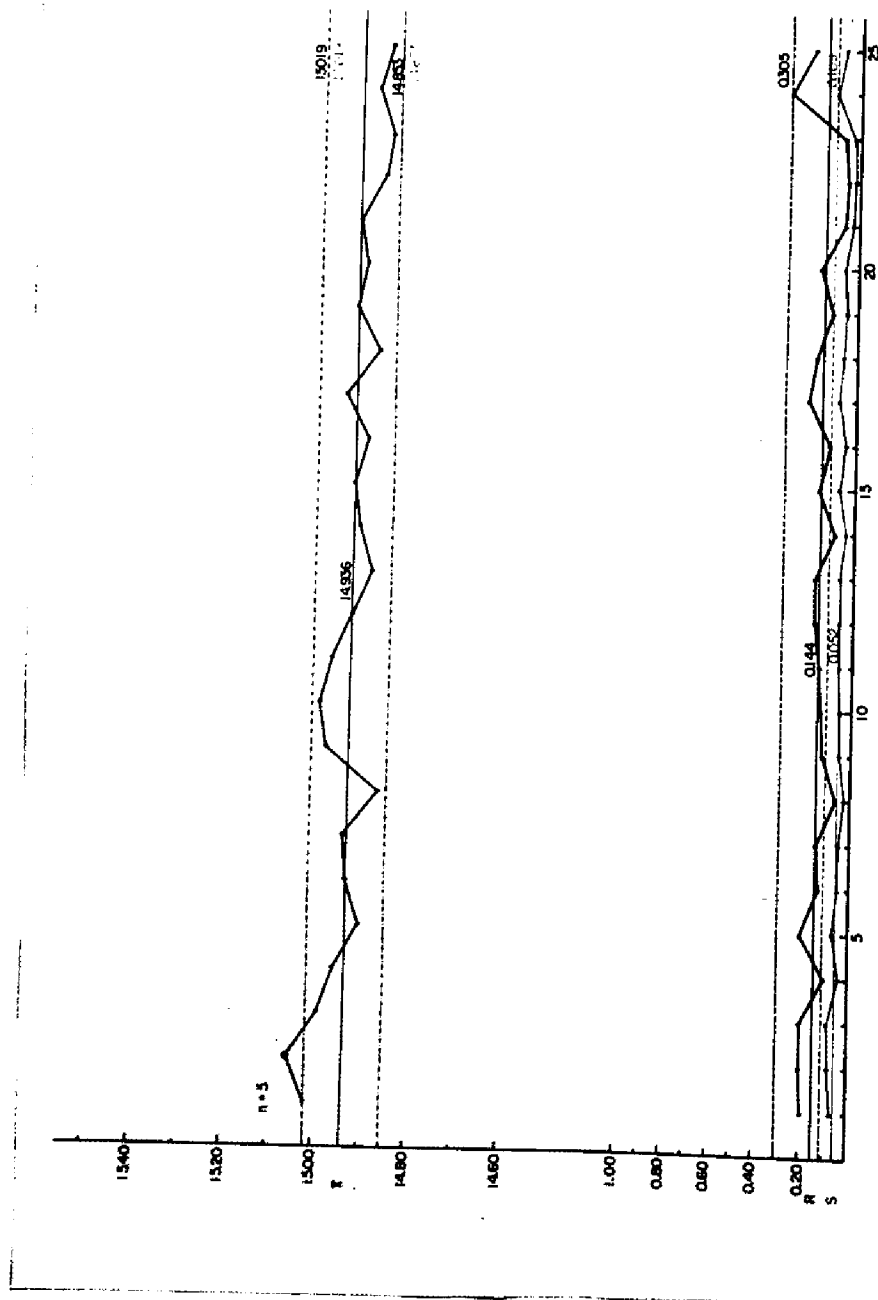


图-12 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理图 (15-D-KN)

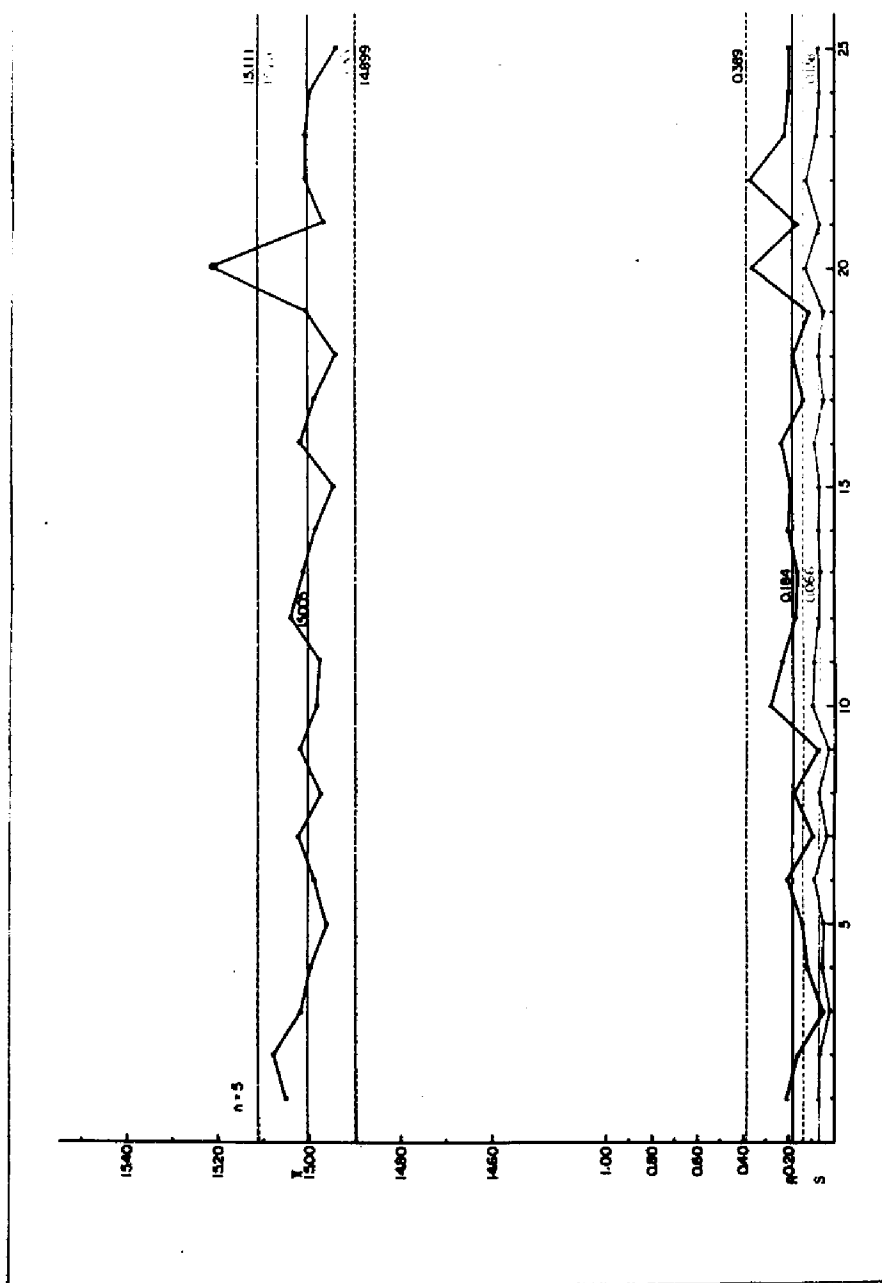


图-13 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理图 (15-D-SH)

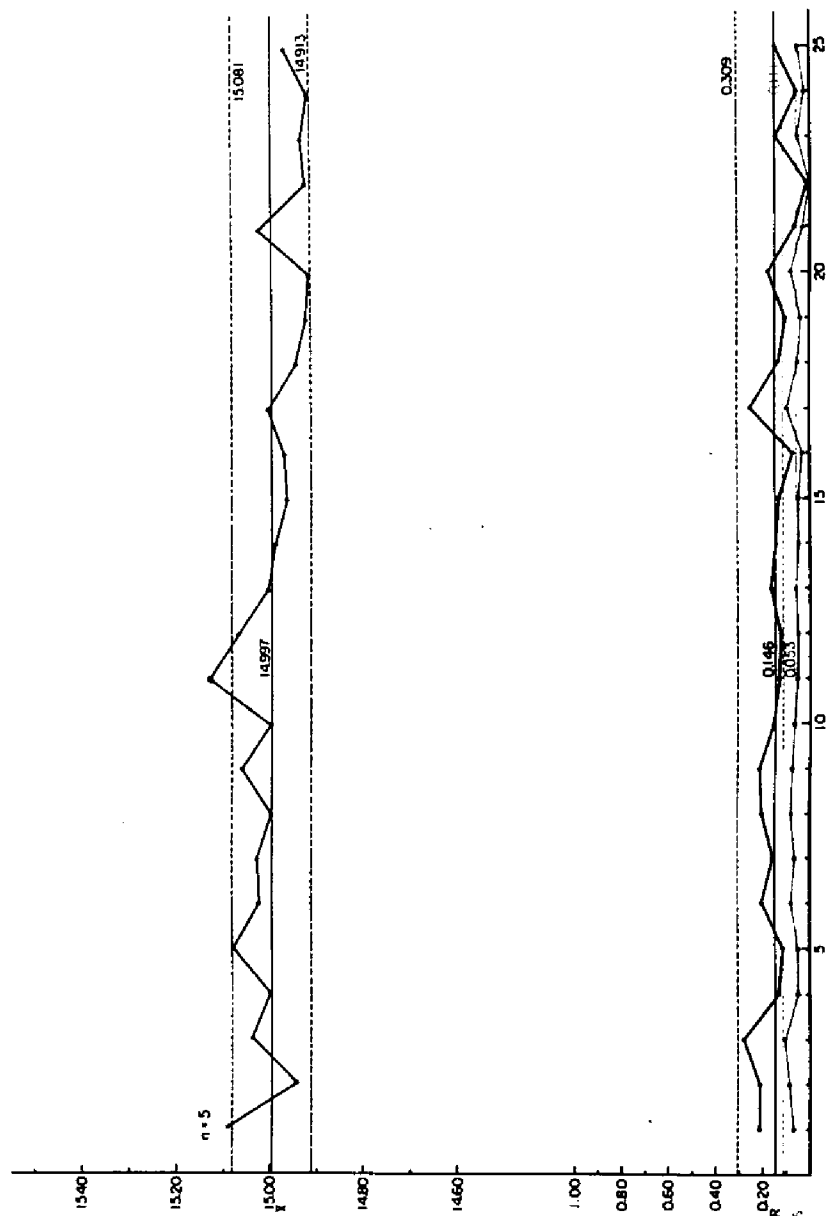


图-14 $\bar{X} - R(\sigma)$ 管理图 (15-D-ST)

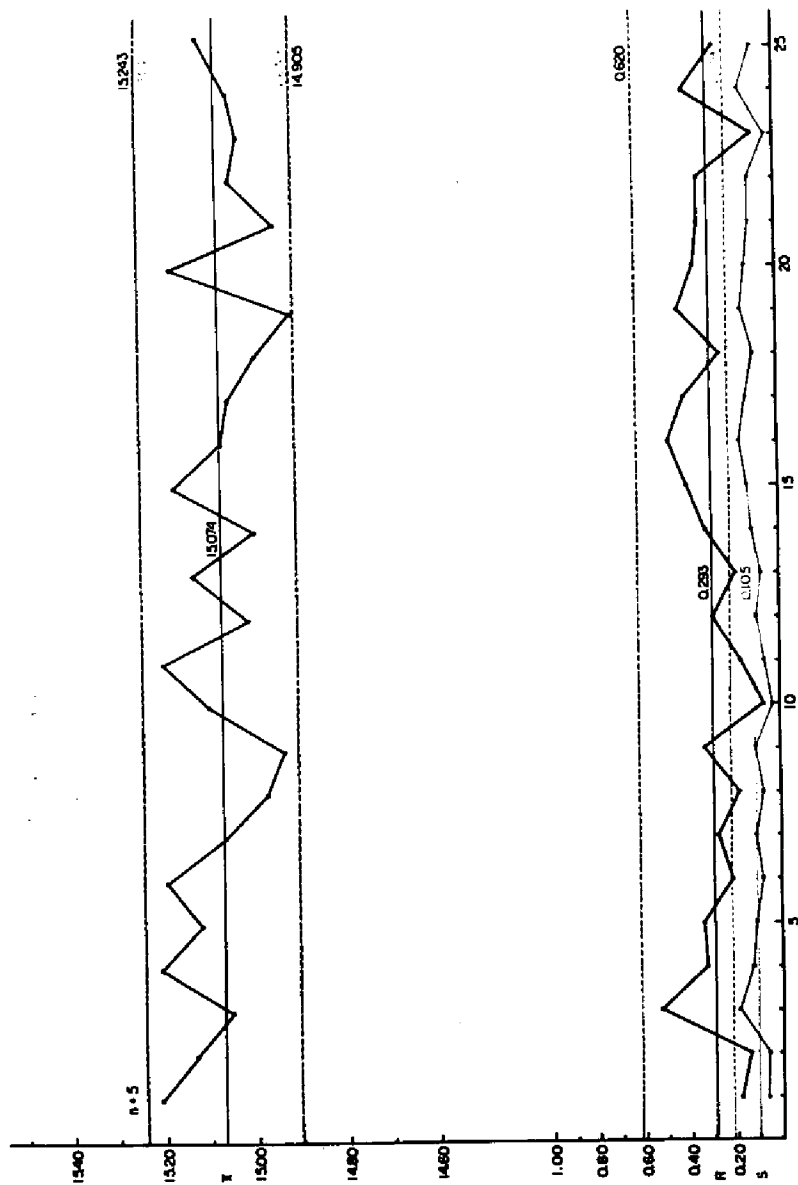


图-15 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理图 (15-B-KN)

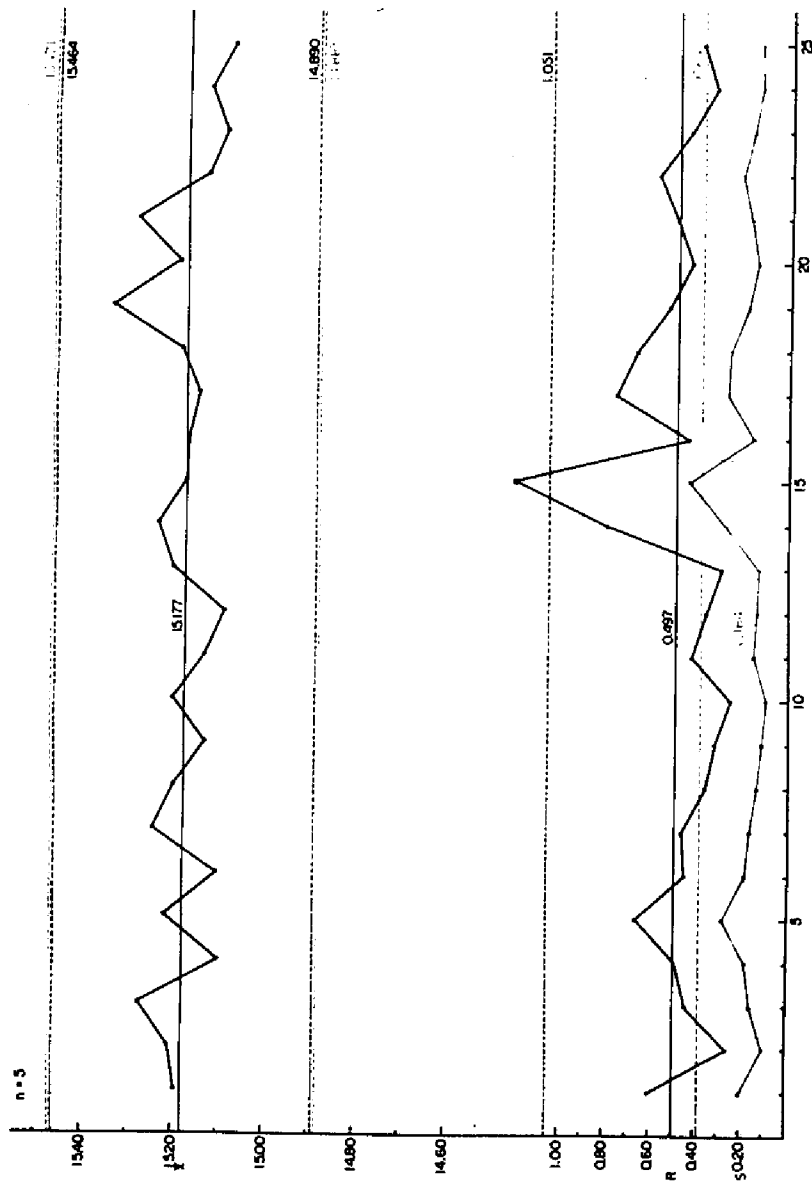


圖-16 $\bar{x} - R(c)$ 管理圖 (15-B-SH)

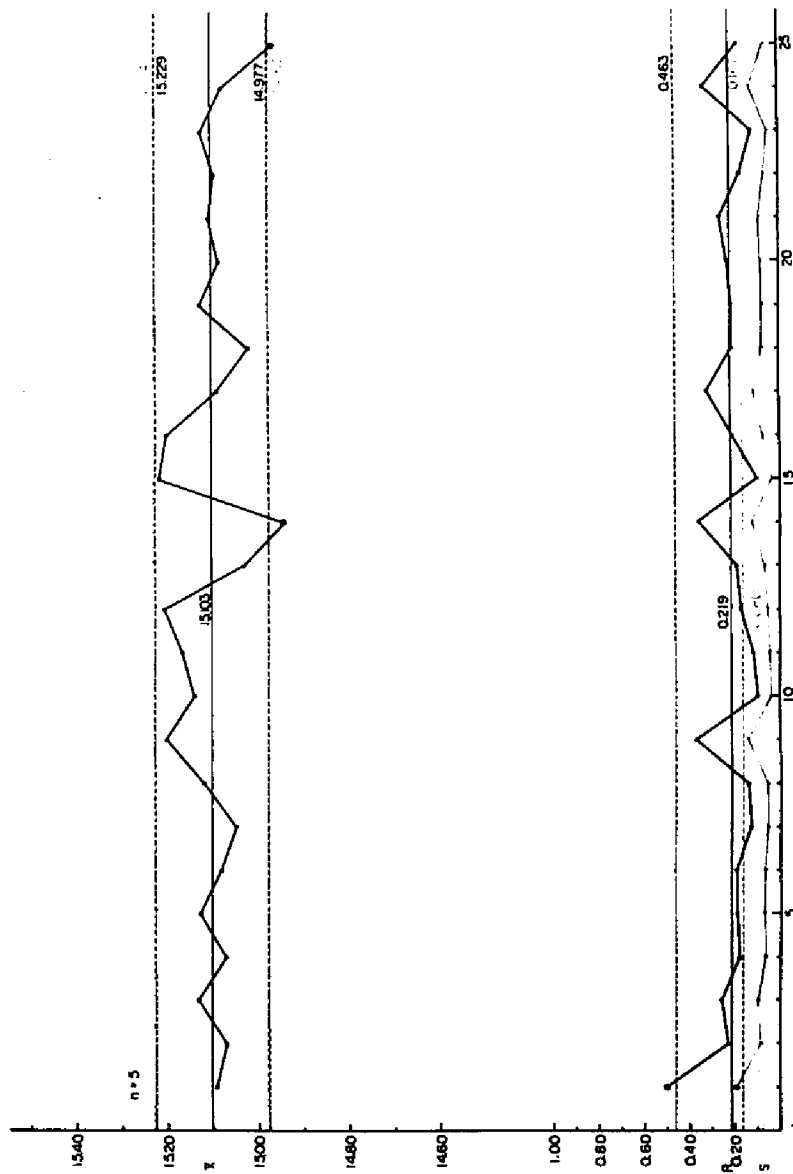


圖-17 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理圖 (15-B-ST)

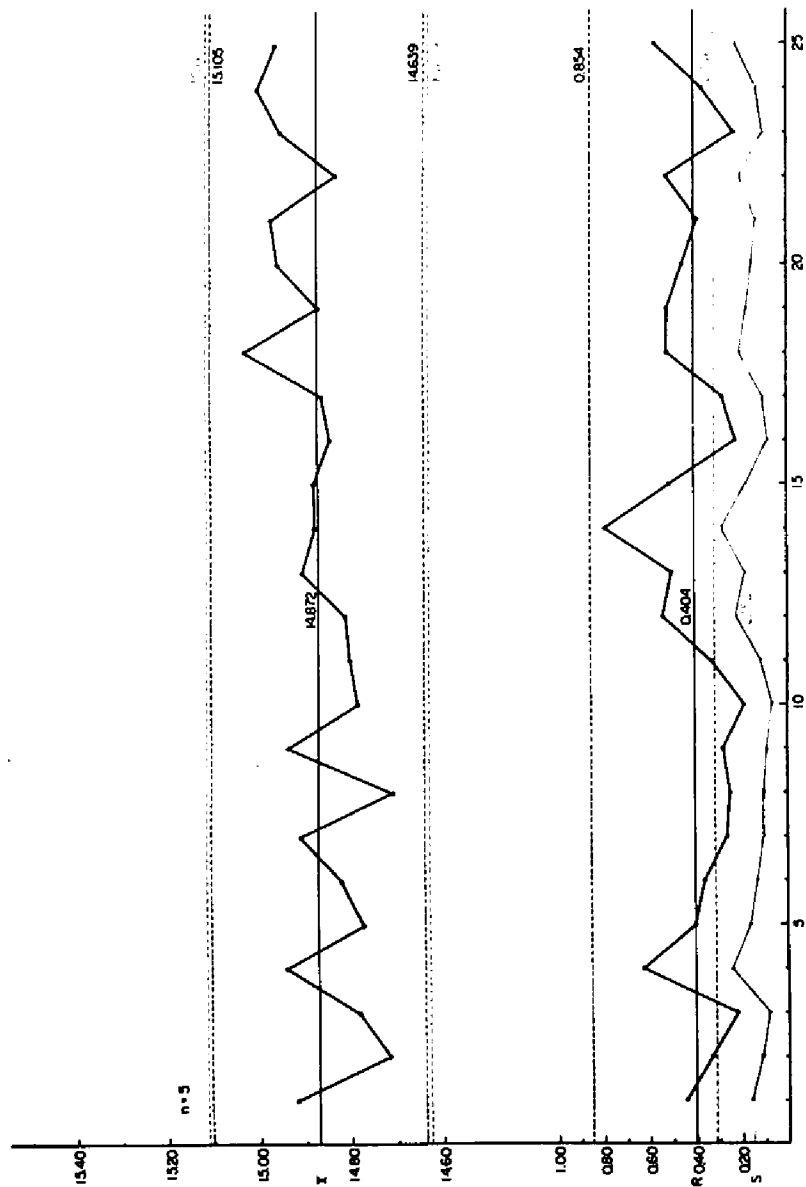


图-18 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理图 (15-R-1-KN)

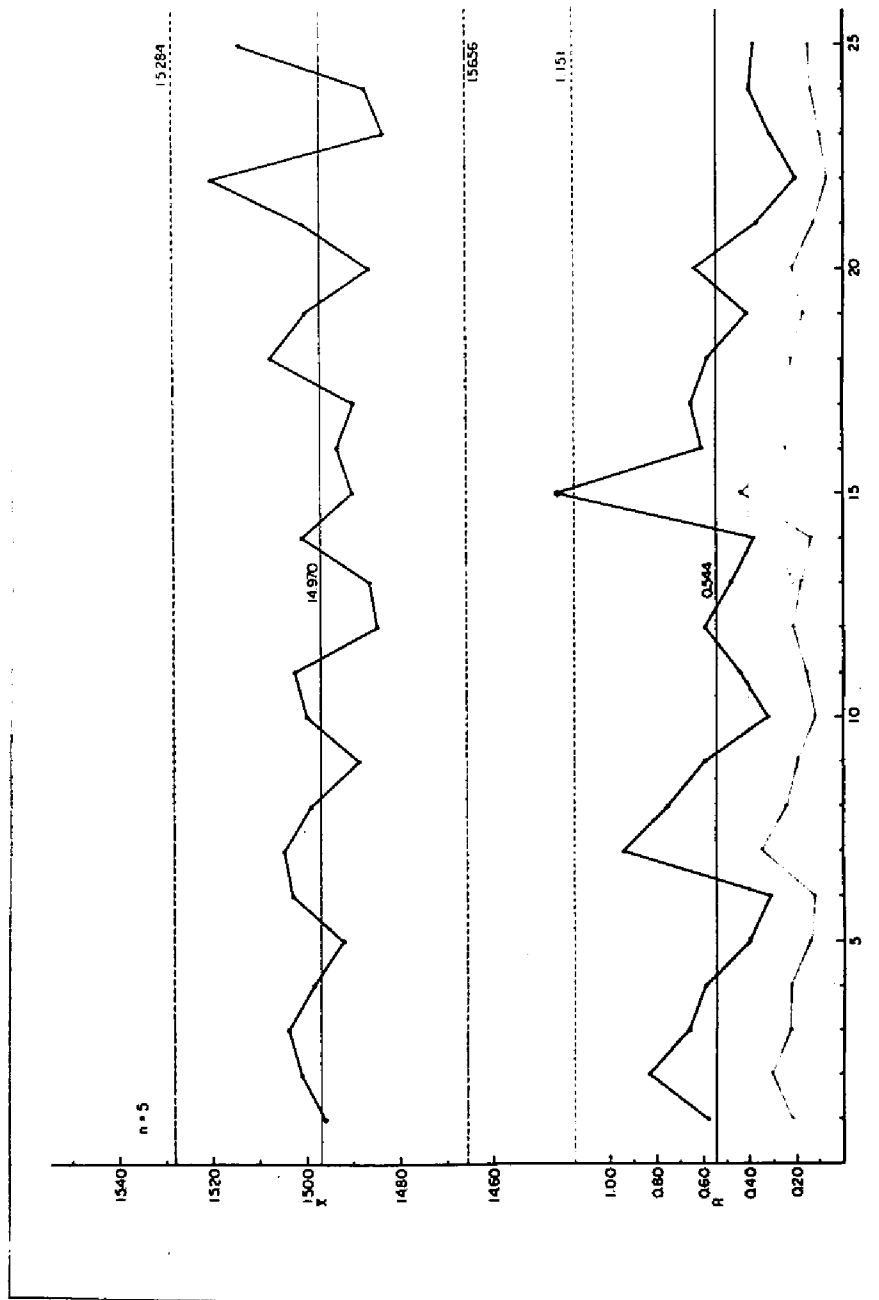


圖-19 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理圖 (15-R-1-SH)

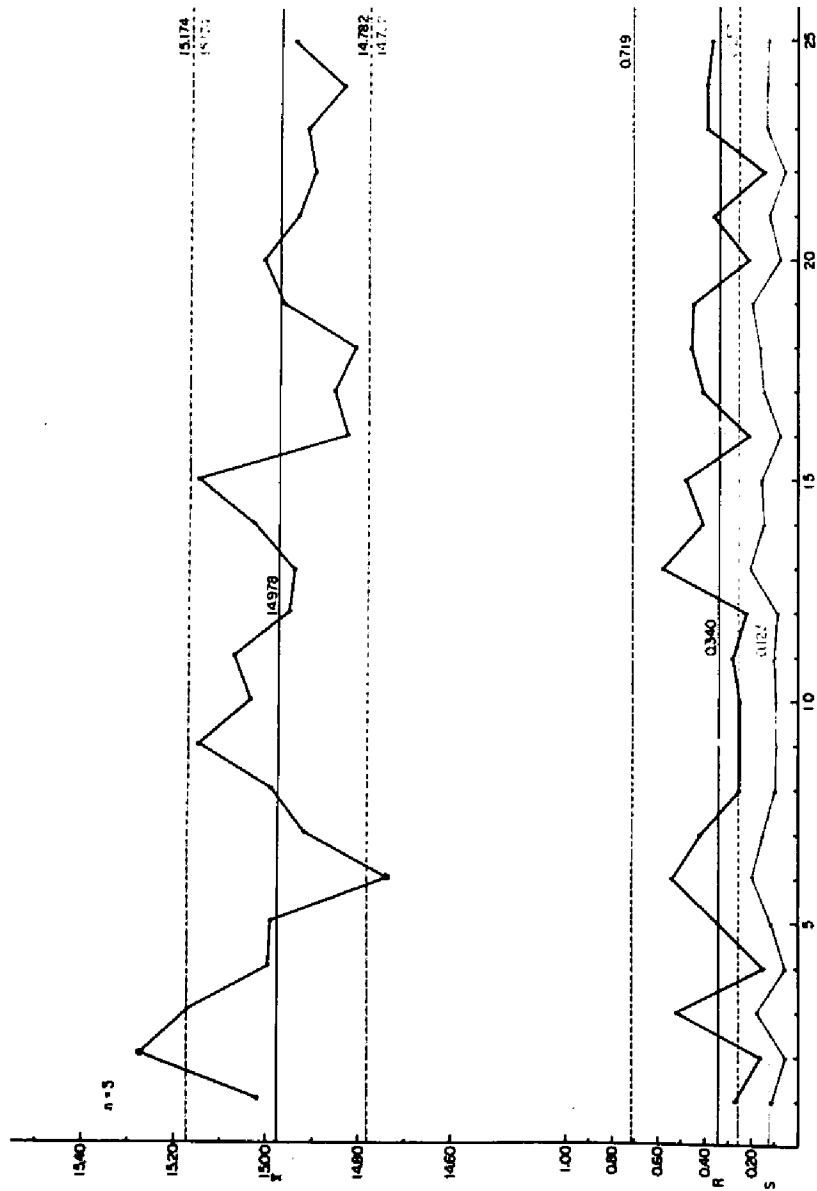


圖-20 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理圖 (15-R-1-ST)

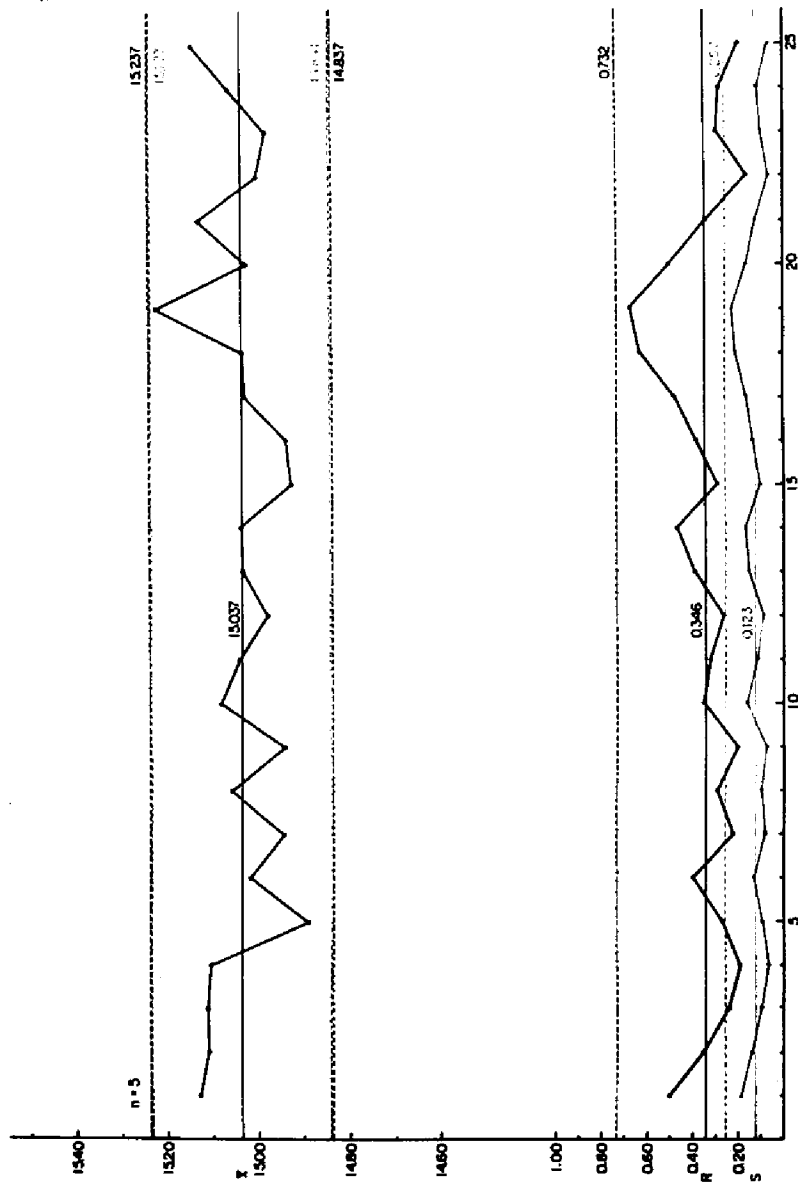


圖-21 $\bar{x} - R(o)$ 管理圖 (15-R-2-KN)

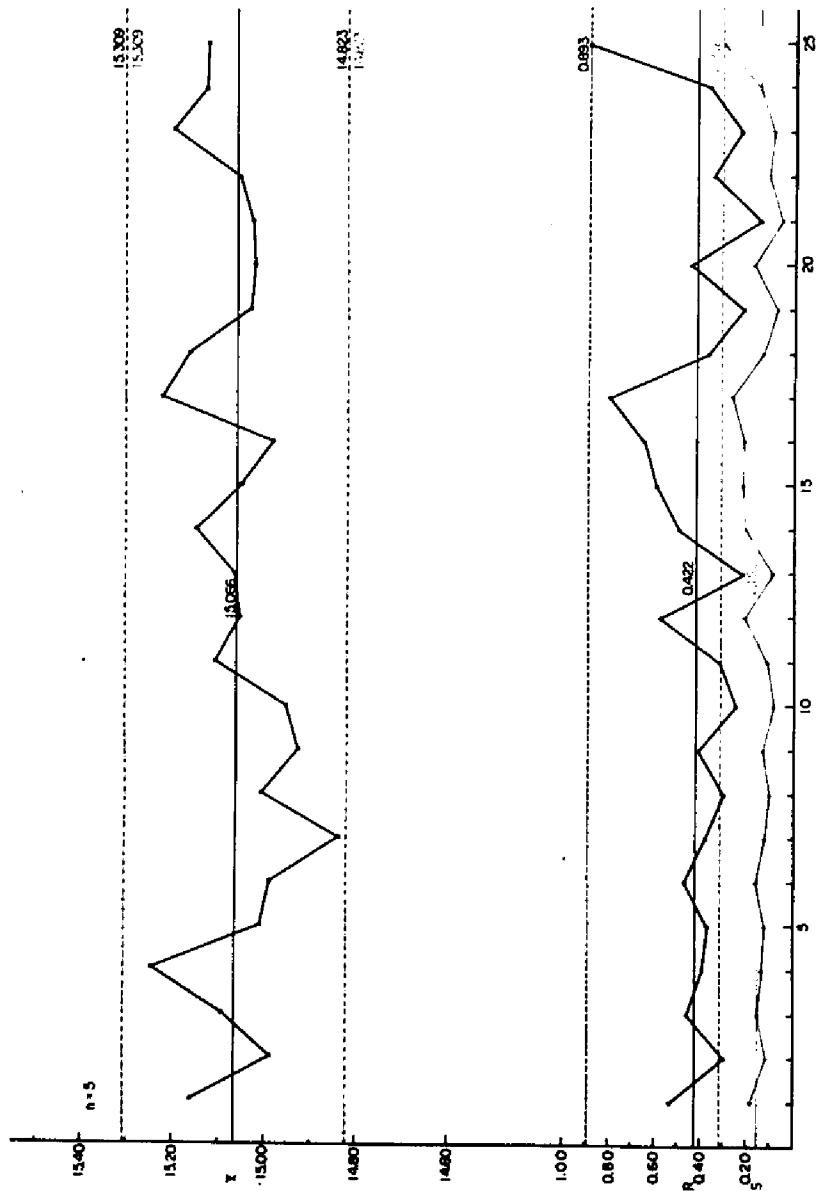


图-22 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理图 (15-R-2-SH)

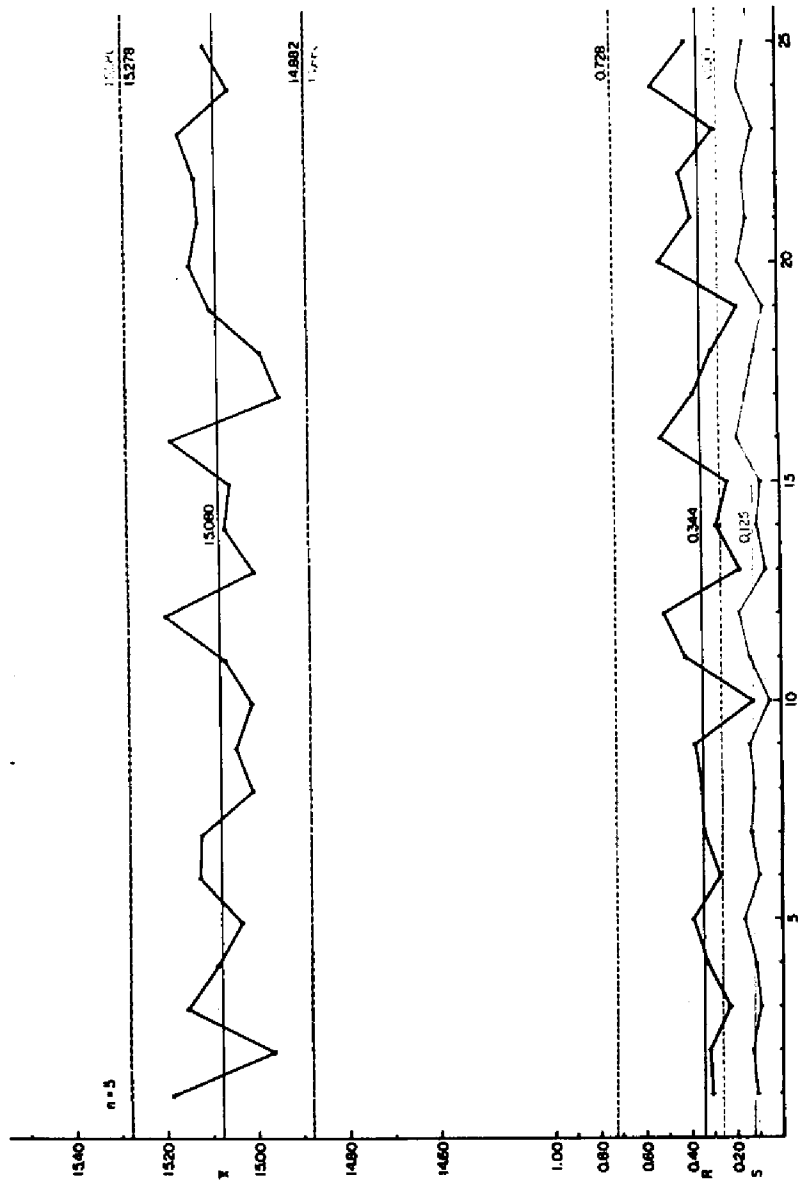


圖-23 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理圖 (15-R-2-ST)

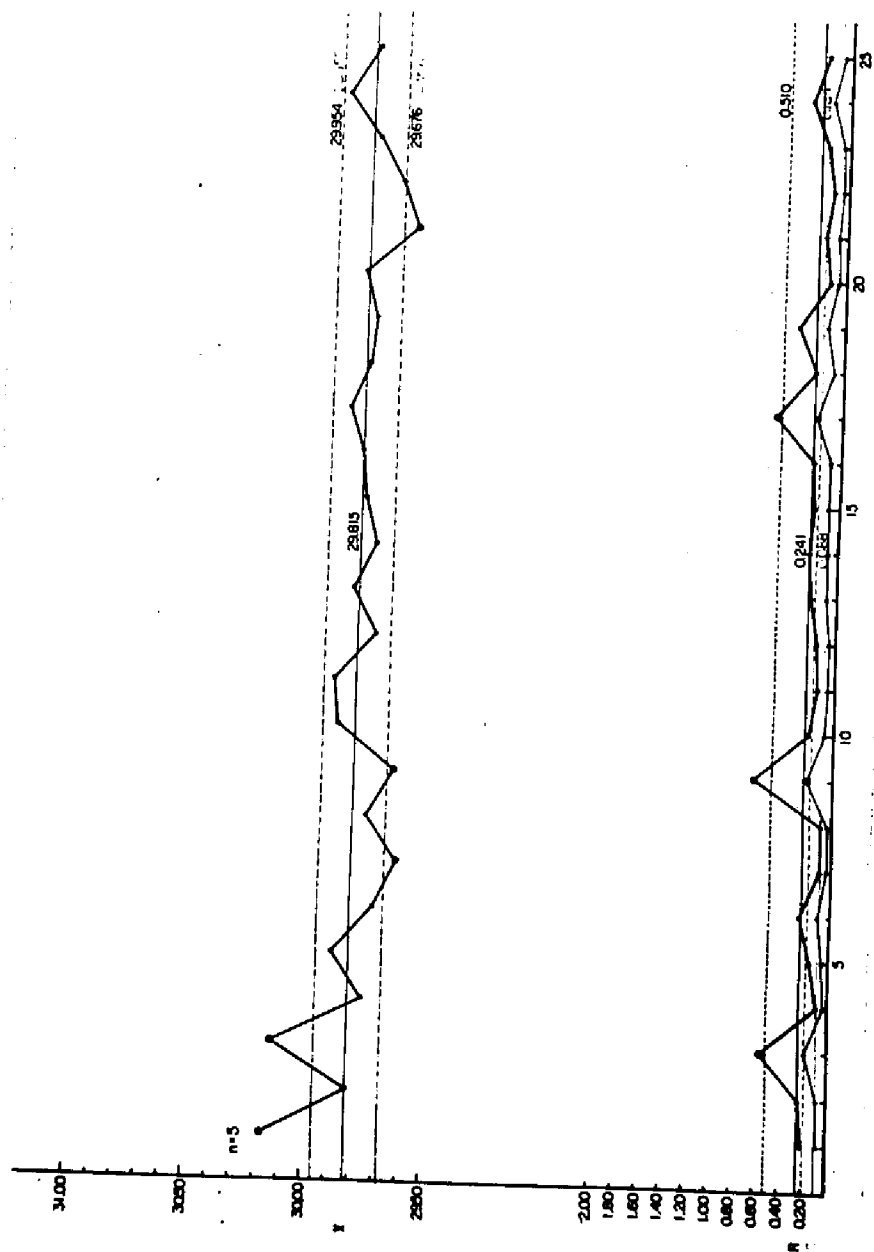


图-24 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理图 (30-D-KN)

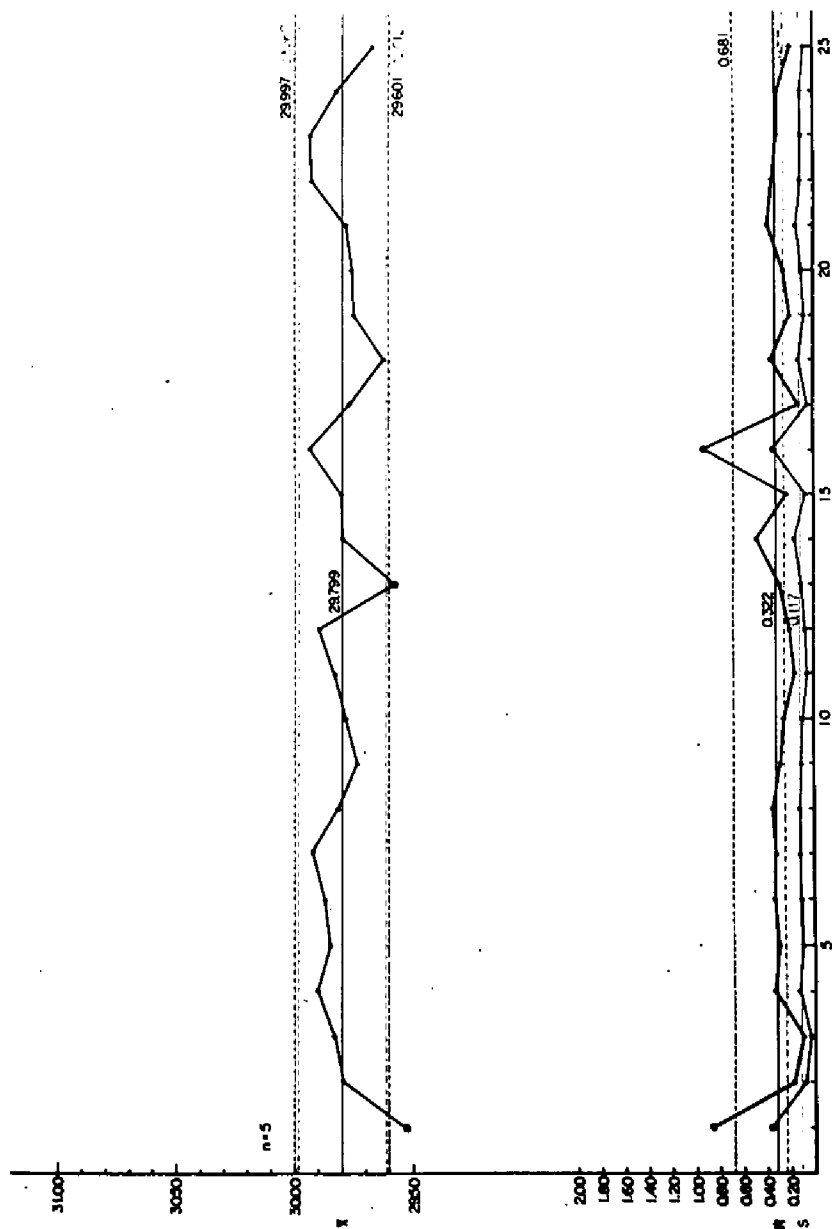


圖-25 $\bar{x}-R(\sigma)$ 管理圖 (30-D-SH)

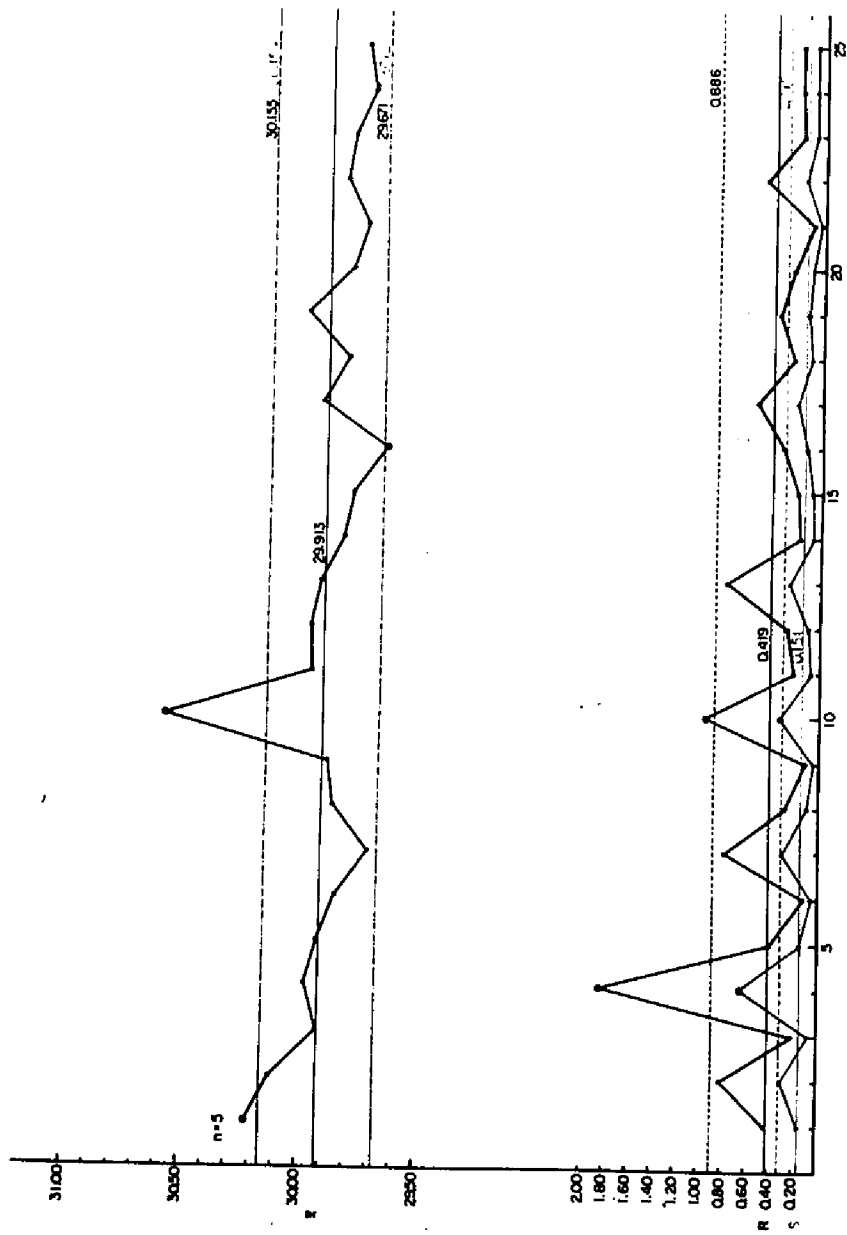


图-26 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理图 (30-D-ST)

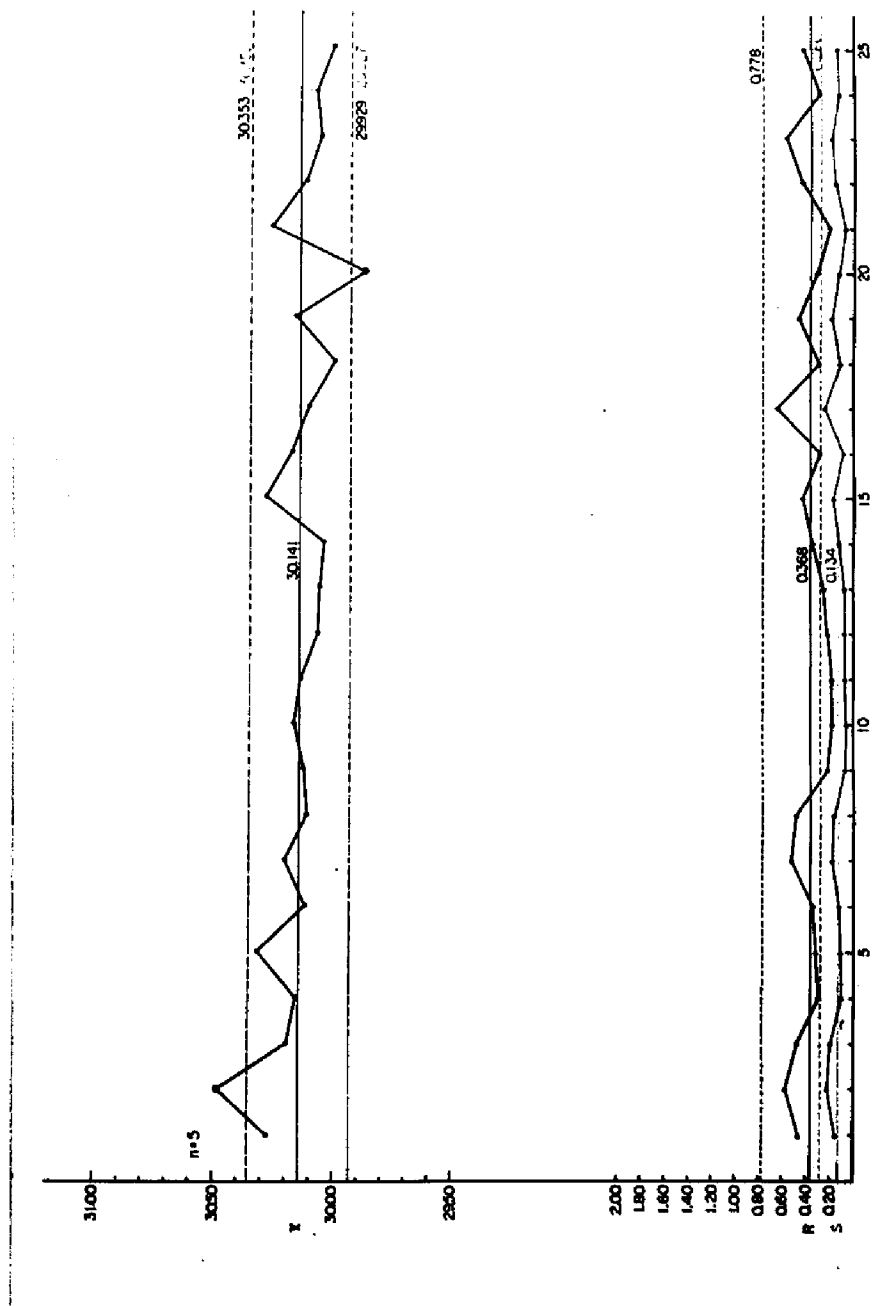


图-27 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理图 (30-B-KN)

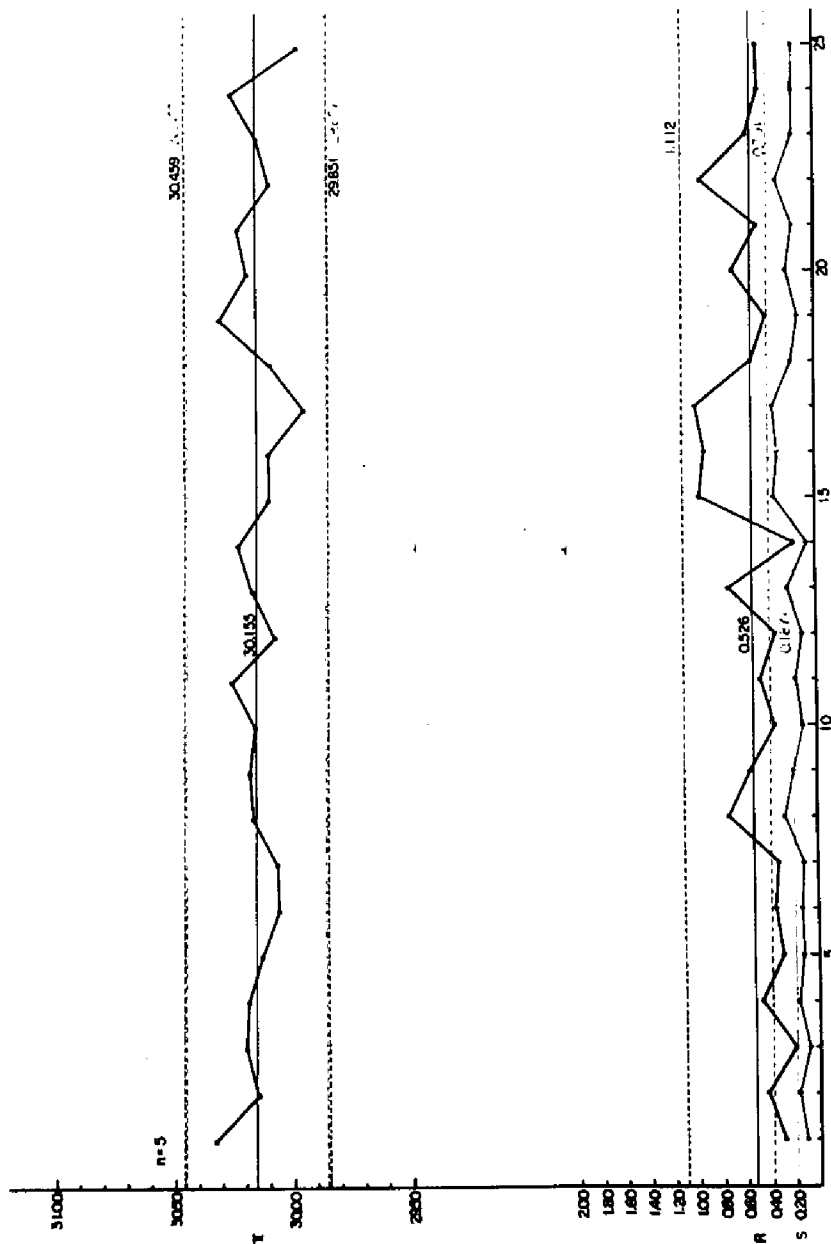


图-28 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理图 (30-B-SH)

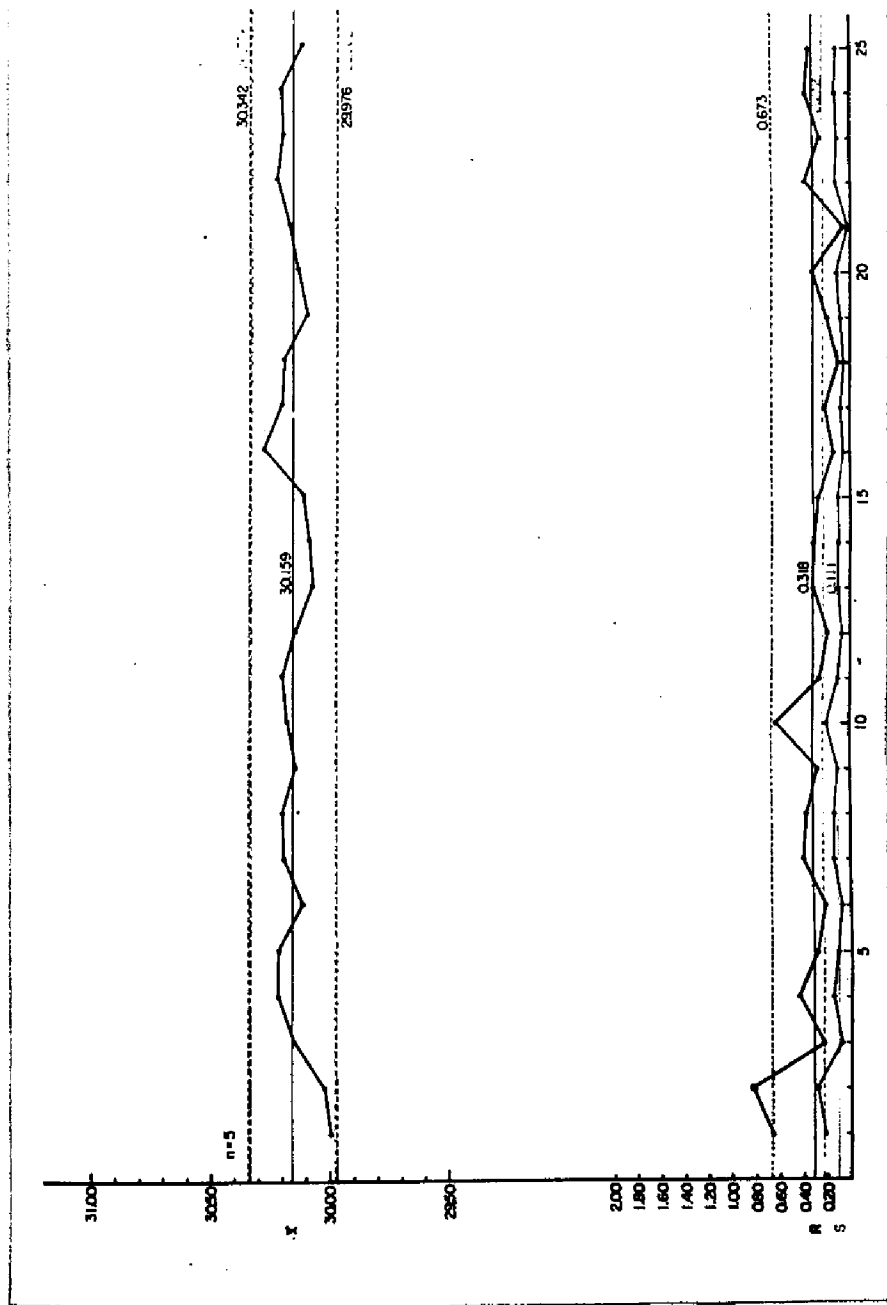


圖-29 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理圖 (30-B-ST)

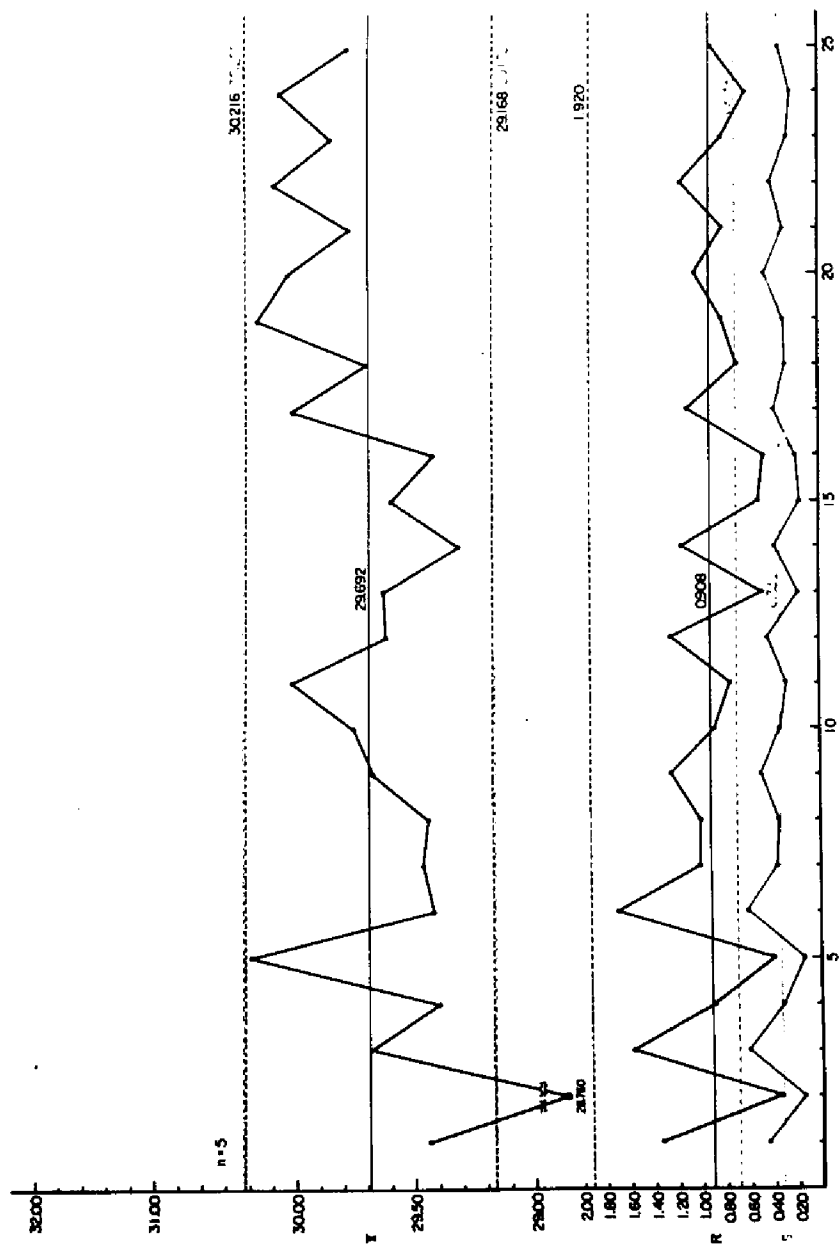


图-30 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理图 (30-R-1~KN)

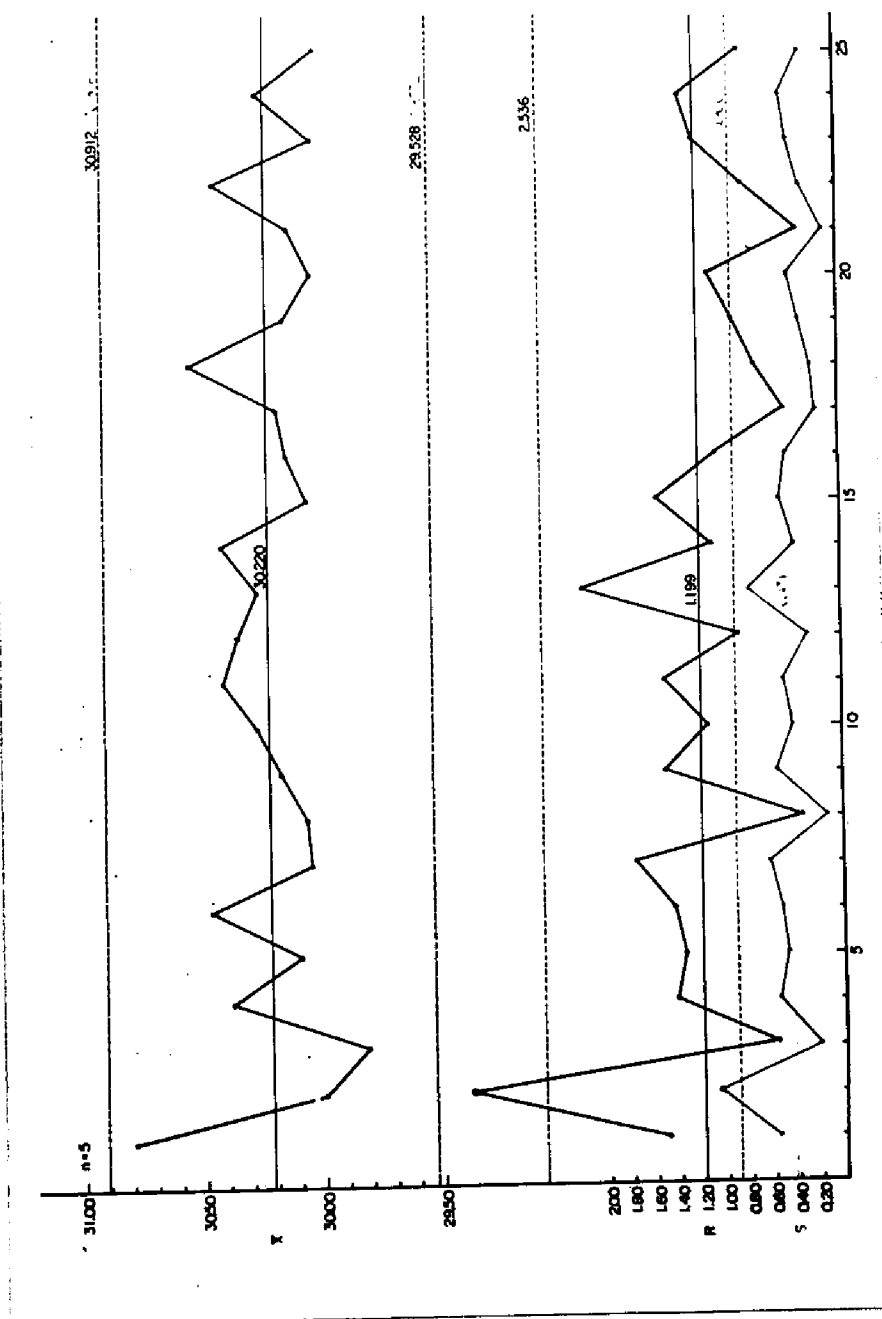


圖-31 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理圖 (30-R-1-SH)

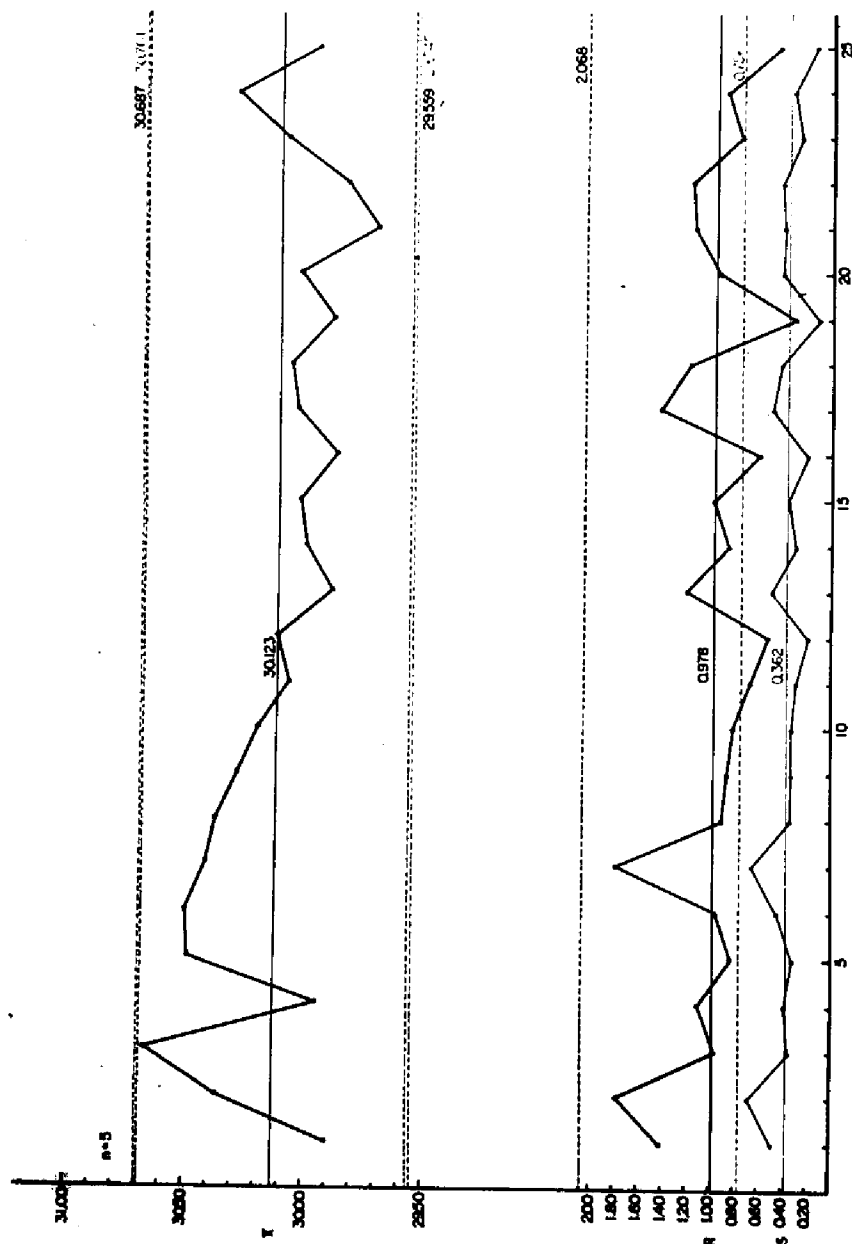


图-32 $\bar{X} - R(\sigma)$ 管理图 (30-R-1-ST)

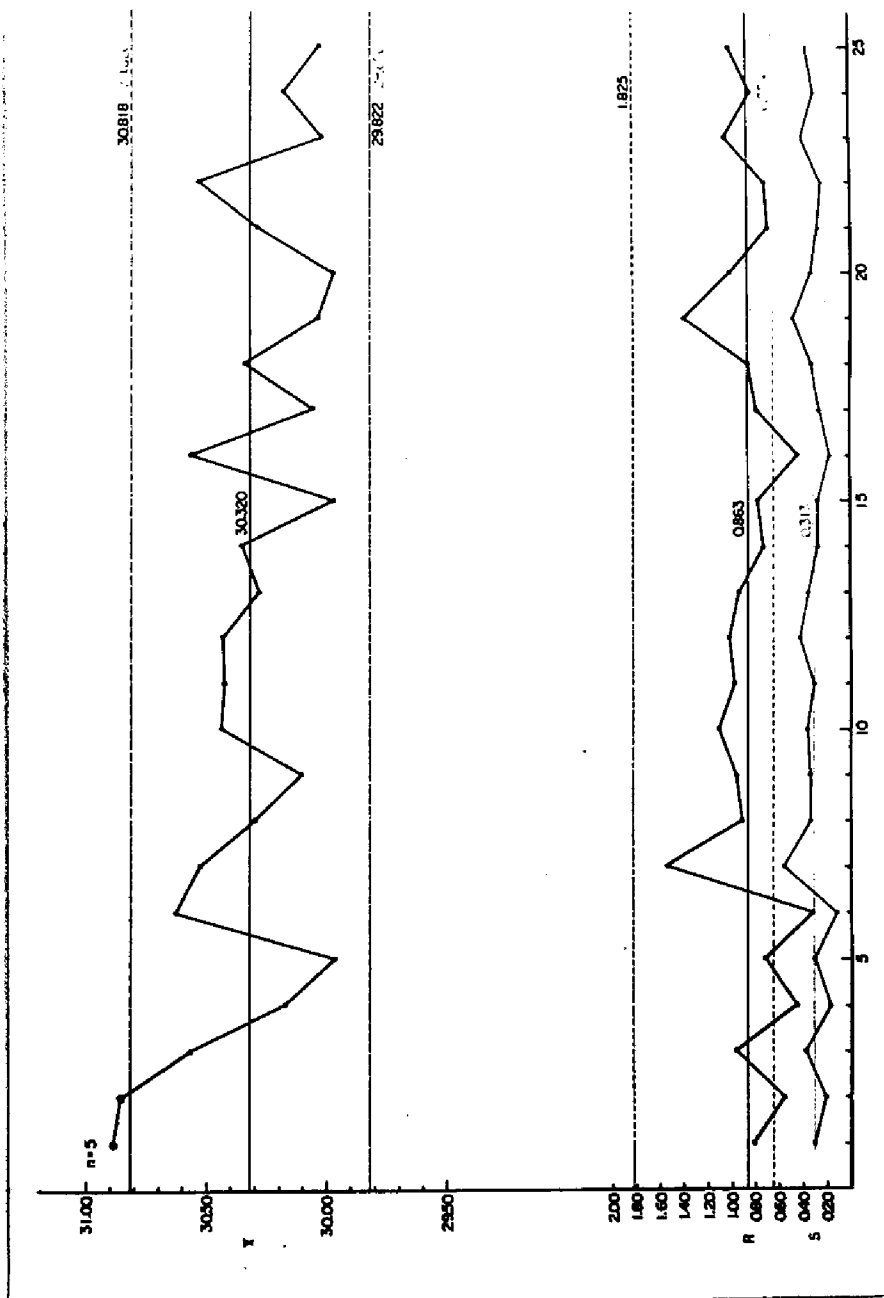


图-33 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理图 (30-R-2-KN)

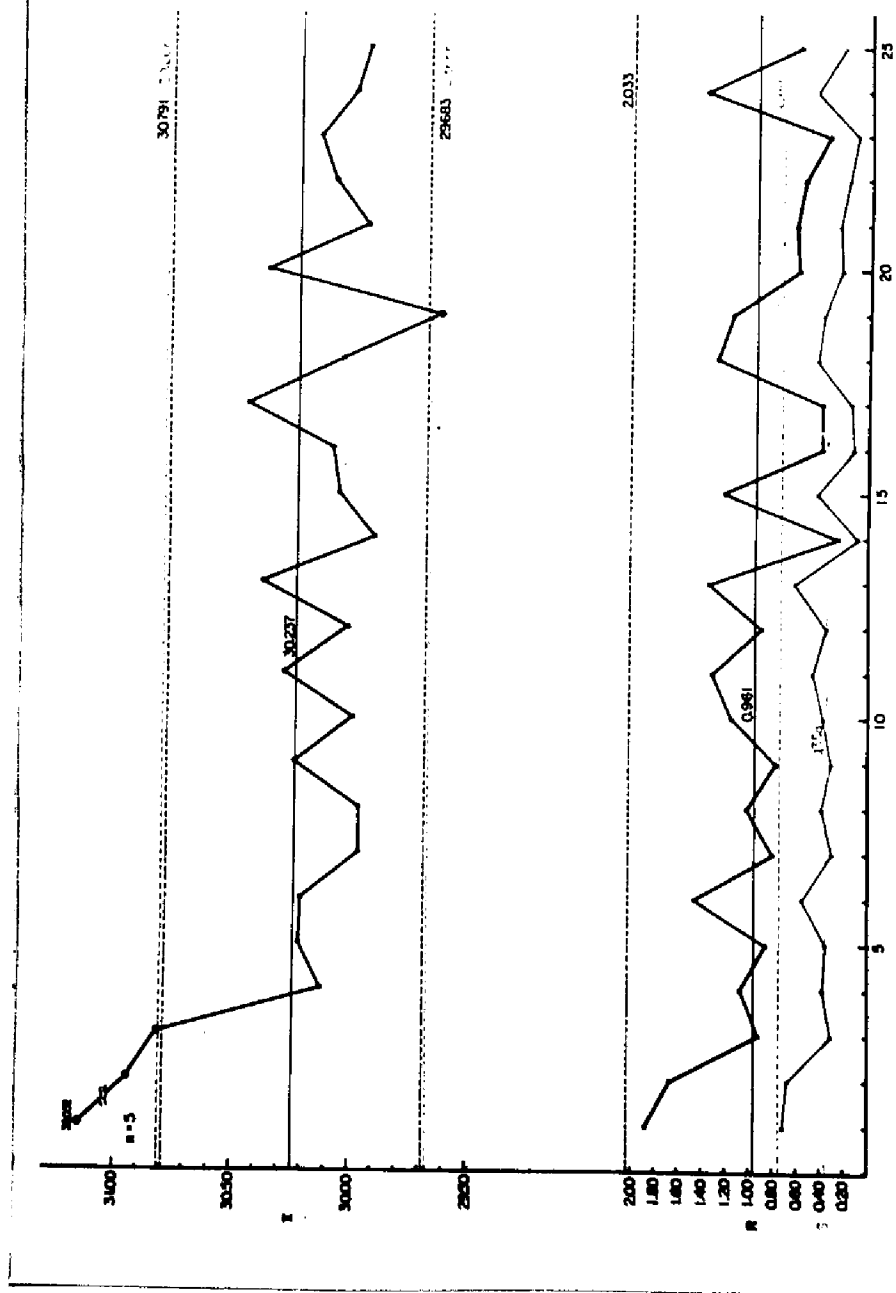


图-34 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理图 (30-R-2-SH)

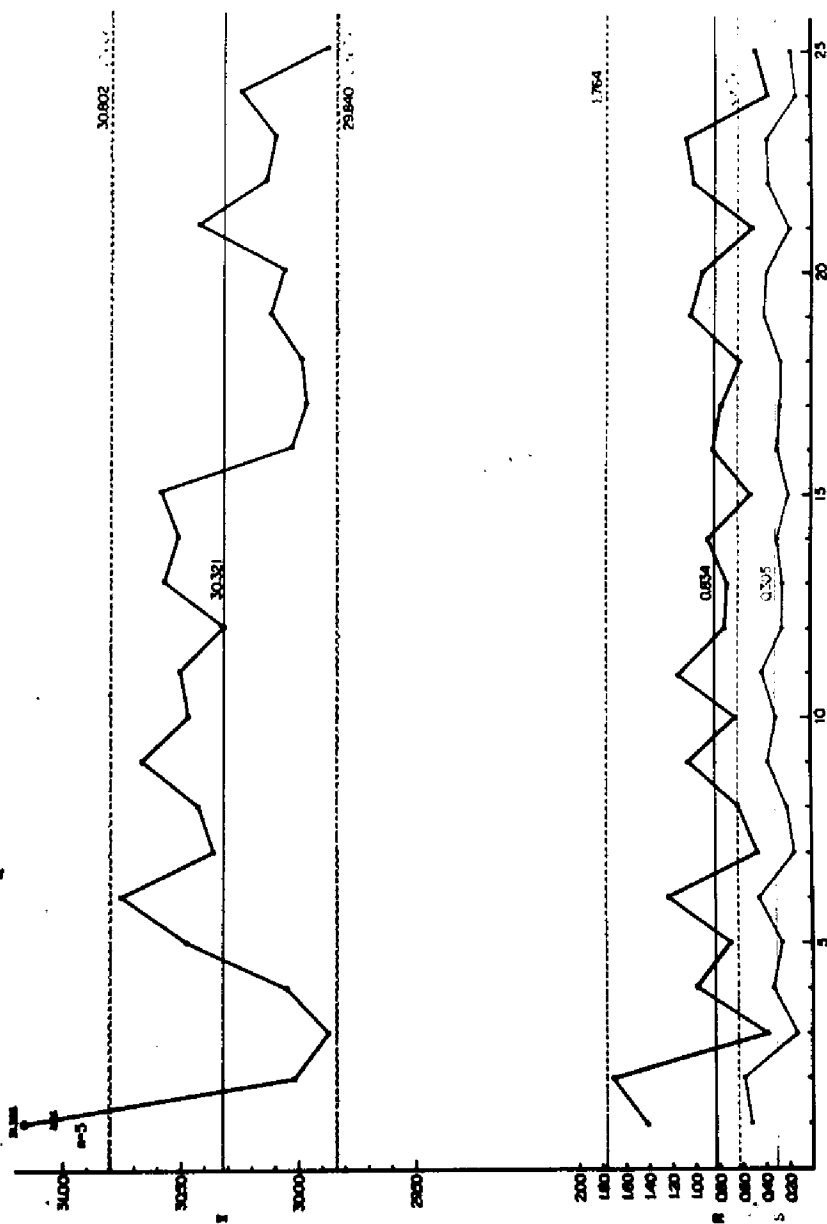


图-35 $\bar{x} - R(\sigma)$ 管理图 (30-R-2-ST)

この観点からすれば、Bの場合でも正しい測定値を得ることが期待される。ただしBでは第2群の \bar{x} が、Gでは第1群のRがともに限界外打点を記録している。この原因はGの場合測定方法について知らされただけで、予備測定を行なうことなく、すぐに実験にかかったために生じたものと考えられるが、Bの場合その原因は明確でない。またB、Gともに「7点の連」を記録している。

レラスコープを用いての距離測定の際に生ずる誤差の原因としては、(1)ボールが垂直に立てられていないこと、(2)ボールがゆれていて視準し難いこと、(3)背景によって測帯が見難くなること、(4)レラスコープの視準線を正しく1mの位置に合わないこと（とくに傾斜地の場合には重要である）、(5)この後でレラスコープを横位置にすると制動ボタンに手を触れて、傾斜角に対する補正が行なわれないうままに測定をすること、(6)視準孔と目の間隔が一定でないこと、(7)手持ちのためレラスコープがゆれ動くこと、(8)測帯を正確に測定対象に一致させないこと、(9)誤った測帯幅を用いること、(10)器械そのものの誤差など多くのものがあるので、測定者、測定補助者ともにこれらの点にとくに留意して測定を行なうことによって初めて正しい値が得られるのである。

熟練度と測定精度との関係をみるために、10群ずつの前・中・後の3つの期間に分けて、測定経験を積むにしたがってどのような変化を示すかをしらべてみた。平均値ではA：前期20.07m，中期20.09m，後期19.97m，B：19.52m，19.79m，19.85m，C：19.99m，20.07m，20.18m，G：19.72m，19.71m，20.01mとなり、C以外は正確度は増す傾向が見られた。一方範囲RについてはA：0.73m，0.48m，0.58m，B：0.38m，0.30m，0.23m，C：0.34m，0.46m，0.35m，G：0.98m，0.51m，0.47mとなって、一般的に経験を積むにしたがって測定値のちらばりは小さくなるといえよう。

各期間の測定回数はそれぞれ30回であり、確かなことはいえないが、A、B、Cの3人はすでにレラスコープによる測定を林内において行っており、とくにCは今までに200回を超える測定経験を積んでいる。したがって図にも示されたとおり、正確度もよく、また平行・再現精度ともにすぐれた結果を得ている。一方Bは両精度ともすぐれているとはいっても、真値からの偏りは最も大きく、これに対しては視準方法の修正を行なう必要があるが、前・中・後期と偏りは段々小さくなっており、Rもまた同じ傾向を示していることからみて、読み方の修正をすればこれまた正確な測定値をとりうることを期待される。Aは各期とも偏りは小さいのであるが、Rについてみると後になるほど小さくはな

っているが、これでも前2者にくらべてかなり大きな値であり、これについては原因を究明し、正しい視準をするよう指導しなければならないであろう。Gは測定に慣れないためにとくに前期においてRが大きかったのであるが、中期から後期に向うにつれて偏り、Rともに小さくなっており、経験を積むことによってだれでも実用上さしつかえない程度にまで正確度、精度を高めうることを示している。

1回あたりの測定所要時間は、Aは2.2秒、Bは2.5秒、Cは1.7秒、Gは2.9秒で、Cがとくに短時間で測定を終えることができるばかりか、そのRは約6秒であって他にくらべて少なく、ほぼ一定の時間で測定が行なえることを示している。A、Bでは所要時間はほとんど回数の進むのと無関係で変化しないが、Gでは後になるほど迅速に、そしていつも変りない時間で測定が行なえるようになってきており、ここでも練習の効果が認められた。

〔実験 2〕

$\bar{x}-R$ および $\bar{x}-\sigma$ 管理図において、限界外打点を含む異常状態の判定をまとめると、次の表ようになる。

しかしながら σ 管理限界を求める基礎となる範囲(R)あるいは標準偏差(s)を個々の測定者ごとに求めた値によっているのは果して妥当であろうか。何となれば、3人の中で最小の \bar{R} もしくは \bar{s} をもつ測定者の場合、管理線の幅は必然的に狭くなり、統計的管理状態を保持することが困難になるという矛盾を生ずるからである。

解析用管理図が必要なのは次の3つの場合である。

i) 過去にとられたデータについて管理状態をしらべ、今後の管理のための標準値をきめる。

ii) これから管理をはじめようとして、その準備としてあらかじめ工程のばらつきをつかみ、それから将来の管理のために新たにデータをとって、今後の管理のための標準値をきめる。

iii) 試験や実験のデータをみるため

いうまでもなく、距離測定さらには林木測定におけるこの種の試験は未だ試みられたことがないので、本実験の主たる目的はii)にあるが、ここで得られた値を標準値として新しく限界線を引き、これを判定の基準とすることが今後の指針として役立つものと考え、以下に述べる解析を試みた。この場合の管理図限界および異常状態の判定結果は次の2つの表に掲げるとおりである。なお限界外打点以外の異常状態については表-20と全く同

表-20 $\bar{x}-R$, $\bar{x}-\sigma$ 管理図における異常状態の判定

距離	器械	測定者	異常な状態の数	\bar{x} 管理図				R (σ) 管理図			
				判定基準				判定基準			
				a	b	c	d	a	b	c	d
15m	D	KN	1	-	-	-	-	-	-	-	-
		SH	1	-	-	-	-	-	-	-	-
		ST	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	KN	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		SH	-	-	-	-	-	1(1)	1(1)	-	-
		ST	2	-	-	-	-	1(1)	-	-	-
	R-1	KN	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		SH	-	-	-	-	-	1(1)	-	-	-
		ST	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	R-2	KN	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		SH	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		ST	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30m	D	KN	5	-	-	-	-	3(2)	-	-	-
		SH	2	-	-	-	-	2(2)	-	-	-
		ST	3	-	-	-	-	2(2)	-	-	-
	B	KN	2	-	-	-	-	-	-	-	-
		SH	-	-	-	-	-	-	1(1)	-	-
		ST	-	-	-	-	-	1(0)	-	-	-
	R-1	KN	1	1	-	-	-	-	-	-	-
		SH	-	-	-	-	-	1(1)	1(1)	-	-
		ST	-	1	1	-	-	-	-	-	-
	R-2	KN	2	-	-	-	-	-	1(1)	-	-
		SH	4	-	-	-	-	-	-	-	-
		ST	1	1	1	-	-	-	-	-	-

註) () 内は σ 管理図における異常状態の数を示す

判定基準

- a : 限界外打点
- b : 7点の連
- c : 点が中心線に対して片側に多く出る場合
- d : 傾 向

表-21 $\bar{x} - R \cdot \bar{x} - \sigma$ 管理図管理限界 (標準値)

管理限界 距離		$\bar{x} - R$ 管理図						$\bar{x} - \sigma$ 管理図					
		\bar{x}			R			\bar{x}			σ		
		\bar{x}	$A_2 \bar{R}$	LCL	UCL	R	UCL	\bar{x}	$A_1 \bar{s}$	LCL	UCL	\bar{s}	UCL
距離測定者	D	KN	14936	0.091	14845	15027	0.334	14936	0.091	14845	15027	0.057	0.119
		SH	15005	'	14914	15096	'	15005	'	14914	15096	'	'
		ST	14997	'	14906	15088	'	14997	'	14906	15088	'	'
	B	KN	15074	0.194	14880	15268	0.711	15074	0.196	14878	15270	0.123	0.257
		SH	15177	'	14983	15371	'	15177	'	14981	15373	'	'
		ST	15103	'	14909	15297	'	15103	'	14907	15299	'	'
15m	R-1	KN	14872	0.248	14624	15120	0.429	14872	0.251	14621	15123	0.157	0.328
		SH	14970	'	14722	15218	'	14970	'	14719	15221	'	'
		ST	14978	'	14730	15226	'	14978	'	14727	15229	'	'
	R-2	KN	15037	0.214	14823	15251	0.371	15037	0.212	14825	15249	0.133	0.278
		SH	15066	'	14852	15280	'	15066	'	14854	15278	'	'
		ST	15080	'	14866	15294	'	15080	'	14868	15292	'	'
30m	D	KN	29815	0.189	29626	30004	0.327	29815	0.190	29625	30005	0.119	0.249
		SH	29799	'	29610	29988	'	29799	'	29609	29989	'	'
		ST	29913	'	29724	30102	'	29913	'	29723	30103	'	'
	B	KN	30141	0.233	29908	30374	0.404	30141	0.230	29911	30371	0.144	0.301
		SH	30155	'	29922	30388	'	30155	'	29925	30385	'	'
		ST	30159	'	29926	30392	'	30159	'	29929	30389	'	'
R-1	KN	29692	0.593	29099	30285	1.028	2.174	29692	0.599	29093	30291	0.375	0.783
		SH	30220	'	29627	30813	'	30220	'	29621	30819	'	'
		ST	30123	'	29530	30716	'	30123	'	29524	30722	'	'
	R-2	KN	30320	0.511	29809	30831	0.886	30320	0.519	29801	30839	0.325	0.679
		SH	30237	'	29726	30748	'	30237	'	29718	30756	'	'
		ST	30321	'	29810	30832	'	30321	'	29802	30840	'	'

表-22 $\bar{x}-R$, $\bar{x}-\sigma$ 管理図における異常状態の判定 (標準値使用)

測定距離	管理図 測定者 距離	\bar{x} - 管理図					R (σ) - 管理図				
		D	B	R-1	R-2	計	D	B	R-1	R-2	計
15m	KN	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	SH	1	0	0	1	2	2(2)	3(5)	2(2)	2(1)	9(10)
	ST	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0
	計	3	0	1	1	5	2(2)	3(5)	2(2)	2(1)	9(10)
30m	KN	3	2	1	2	8	0	0	0	0	0
	SH	2	0	0	4	6	2(2)	4(4)	1(2)	0(1)	7(9)
	ST	4	0	0	1	5	5(5)	0	0	0	5(5)
	計	9	2	1	7	19	7(7)	4(4)	1(2)	0(1)	12(14)

じであるので、ここでは省略してある。

この結果、30mの測定では15mにくらべて \bar{x} 管理図およびR(σ)管理図においてきわめて多くの異常状態がみられたが、これは測定誤差の項において述べたように、測定距離の影響が非常に大きいこととよく一致するが、30mの場合にのみ限界外打点以外の異常が記録されたことについては今のところ的確な説明を加えることはできない。一般に \bar{x} 管理図における異常状態の数はR(σ)管理図におけるそれよりも多く、前節において群間に有意差が認められたことと合致し、平行精度にくらべて再現精度が管理し難いことを示しているが、測定者SHにおいてはこの関係が逆になっている。測定者別にみれば、 \bar{x} 管理図、R(σ)管理図を通じて、また2つの測定距離においてSHの異常が多く、測定誤差における結果とよく近似する。さらに異常状態の現出が一般に実験前半期に多いことは、ある程度の練習を積まなければこれら器械を実用に供することは危険であることを示しているといえよう。

本研究では $\bar{x}-R$ 管理図と $\bar{x}-\sigma$ 管理図の2種類の管理図を用いたが、表-19あるいは表-20からも明らかなように、両者の間では時として管理限界線が合致しないことがある。

1組のデータの最大値から最小値を引いたものを範囲 range といい、Rで表わす。

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

範囲はばらつきの限界を表わす大きさであるから、常識的にも理解しやすく、また計算も簡単であるので現場などでは用いやすい。

1つの母集団からn個ずつのデータを取り、k組のおののについて範囲を求めると、次のようになる。

$$R_1, R_2, R_3, \dots, R_k$$

これらの範囲はまた分布（ばらつき）をもっている。k個のRについて平均値を求めると、平均範囲 \bar{R} が求まる。

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_k}{k}$$

\bar{R} から標準偏差を求めるには、組内のデータの数nによって定まる係数（ d_2 ）で \bar{R} を割ればよい。

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$$

標準偏差はsであらわすこともあるが、一般に σ であらわすことが多い。試料数を問題にしたいときは、標準偏差を σ で表わす。

標準偏差を求める場合、分散から計算する方法は一度自乗し、後から平方根をとるような面倒がある。範囲から標準偏差を求める場合は、そのような手数がいらないので計算はよほど楽である。

それではいつでも範囲から標準偏差を求めることにきめてしまえばよさそうであるが、そういかな理由がある。図-36のような3組のデータがある。a, b, cは同じ範囲である。しかし、データ全体のばらつきの姿は全くちがっている。これに同じばらつきの尺度を与えることはおかしい。分散から計算する場合は、全体のデータが生かされているから、ばらつきを与えるにはよい方法である

表-23 管理限界係数表

群の 大きさ n	σ と \bar{R} の関係 $\sigma = \bar{R}/d_2$		σ と σ の関係 $\sigma = \sigma/c_2$	
	d_2	$1/d_2$	c_2	$1/c_2$
2	1.128	0.886	0.564	1.772
3	1.693	0.591	0.724	1.382
4	2.059	0.486	0.798	1.253
5	2.326	0.430	0.841	1.189
6	2.534	0.395	0.869	1.151
7	2.704	0.370	0.888	1.126
8	2.847	0.351	0.903	1.108
9	2.970	0.337	0.914	1.094
10	3.078	0.325	0.923	1.084

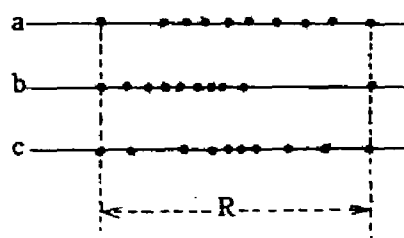


図-36 同じ範囲のちがひ

ことがわかる。しかしRについて何度も繰返しをして、平均範囲 \bar{R} について標準偏差を求めれば、偏りは小さくなることもわかるであろう。

\bar{R} から求めた管理限界線とsをもとにした限界線との間にずれがあるのは上のような理由によるのである。

本実験での群の大きさ $n=5$ の場合について考えてみよう。

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/2.326 \quad , \quad \hat{\sigma} = s/0.841 \\ \therefore \bar{R} = 2.766 s$$

測定距離・測定器械・測定者別のsとRとの関係をみるために、いまy軸にR、x軸にsをとり、それぞれ相对应する点を定めるとすべての点は直線 $y = 2.766 x$ の上に乗るはずである。しかし通常はこのようにならず、この直線の上下に散らばり、一般に関係式 $\hat{y} = \hat{a} + \hat{b}x$ が得られる。したがって標本より推定した \hat{a} と \hat{b} の値が $a=0$ 、 $b=2.766$ と有意差があるかどうかを検定してみればよいことがわかる（後述する材積表の適合性の検定の項参照）。

その結果を示すと次の表のようになる。（表-24）

このように相对应するRとsの関係は必ずしも理論どおりになるとは限らず、したがって \bar{R} をもとにして \bar{x} の管理限界線を描いた場合と \bar{s} によるそれとの間には差を生ずることも明らかであって、 \bar{R} を用いることには多少問題があるが、多くの場合限界線の差はわずかであって実用上はほとんど無視してさし支えないであろう。またその都度標準偏差を計算することは煩雑であり、したがって限界外打点などが記録されたときにその原因を究明するのに時間がかかることにもなって、管理図を利用して統計的管理状態を保持しようとするれば、 $\bar{x}-R$ 管理図の方に利点が認められることになる。

これまでに述べてきたように、個人誤差および器械誤差を明らかにするためには分散分析等によるのが最もすぐれてはいるが、要因が多くなればなるほど解析が複雑になり、したがって時間も多く要するということになるので、現場において実際の測定を行なうに当たって適格者を選抜しようとするれば、 $\bar{x}-R$ 管理図の採用が有効であって、解析の手段としてすぐれた一面をもっているといえよう。

参考のために、本実験で得られた結果を基準値として $\bar{x}-R$ 管理図（群の大きさ：5）管理限界を表示し、今後解析するときのための資料とした（表-25）。

表-24 有意差の検定結果

測定者 回帰式検定 距離器械		KN		SH		ST	
		回帰式	F ₀	回帰式	F ₀	回帰式	F ₀
15m	D	$\hat{y} = -0.0031 + 28.142x$	0.090	$\hat{y} = -0.0113 + 29.584x$	1.773	$\hat{y} = 0.0036 + 2.6773x$	0.498
	B	$\hat{y} = -0.0203 + 29.773x$	2.577	$\hat{y} = -0.0023 + 2.7199x$	1.085	$\hat{y} = 0.0105 + 2.5960x$	2.962
	R-1	$\hat{y} = -0.0106 + 28.972x$	0.774	$\hat{y} = -0.0079 + 2.8400x$	0.313	$\hat{y} = -0.0238 + 2.9414x$	0.888
	R-2	$\hat{y} = 0.0117 + 25.762x$	5.931**	$\hat{y} = 0.0136 + 2.7159x$	0.352	$\hat{y} = -0.0061 + 2.8218x$	0.124
30m	D	$\hat{y} = -0.0057 + 28.091x$	0.112	$\hat{y} = 0.0309 + 2.4817x$	6.371**	$\hat{y} = -0.0064 + 2.8249x$	1.517
	B	$\hat{y} = 0.0285 + 2.5364x$	1.787	$\hat{y} = -0.0250 + 2.9382x$	3.303	$\hat{y} = -0.0225 + 3.0590x$	13.314**
	R-1	$\hat{y} = 0.0016 + 2.7493x$	0.067	$\hat{y} = 0.0572 + 2.5233x$	9.622**	$\hat{y} = -0.0160 + 2.7838x$	0.289
	R-2	$\hat{y} = 0.0173 + 2.6867x$	0.398	$\hat{y} = -0.0612 + 2.9238x$	1.920	$\hat{y} = 0.0369 + 2.6006x$	1.715
註) F ₂₅ ² (0.05) = 3.4221		F ₂₃ ² (0.01) = 5.6637					

註) $F_{28}^2(0.05) = 3.4221$ $F_{23}^2(0.01) = 5.6637$

表-25 X-R管理図管理限界(基準値)

距離 器械	管理限界	\bar{x}			R		
		\bar{x}	LCL	UCL	\bar{R}	UCL	
15m	D	15.000	14.909	15.091	0.158	0.334	
	B	15.000	14.806	15.194	0.336	0.711	
	R-1	15.000	14.752	15.248	0.429	0.907	
	R-2	15.000	14.786	15.214	0.371	0.785	
30m	D	30.000	29.811	30.189	0.327	0.692	
	B	30.000	29.767	30.233	0.404	0.854	
	R-1	30.000	29.407	30.593	1.028	2.174	
	R-2	30.000	29.489	30.511	0.886	1.874	

5. 心理学的テスト

(1) テストの目的および方法

上の2つの解析を通じて、3人の測定者はそれぞれ特性を示しているように思われる。単純作業に属するこの種の実験が判断力・識別力・興味・性格（狭義のパーソナリティ）などの心理的特性によって影響を受けるかどうかは過去に資料がないので判然としないが、林地における林木測定諸作業が肉体労働を伴うのにくらべれば、はるかに心理的要因の占める割合が多いものと考えられる。

このためKN、SHの2名に対して以下に述べるようなテストを行なって、その間の関係を明らかにしようと試みた。STはテスト時には戦場を離れていたので参加できず、完全なものとはなしえなかった。また上記実験にとりかかる前には、この種のテストを行なうことを計画していなかったので、実験計画その他からしても不完全とのせしりは免れないであろう。

心理テストによる心理検査は適性検査の別名とまで考えられている重要なものであって、その一つに知性の現実生活において活動する姿をとらえて測定評価する知能検査があり、知能以外の注意・記憶・器用などの心理作用については作業検査あるいは特殊性能検査と呼ばれる方法を用いて測られる。わが国では図形や符号を使う抹消検査・破線指示・図形分割・迷路検査を組合わせた桐原・意志気質検査およびこれに若干のテストを加えた労研・安全テストが代表的なものである。

本実験では諸般の事情から労研・安全テストによったが、以下各テストについて概説する。

テスト1およびテスト9

このテストは桐原・意志気質検査のうちからとられたものである。このテストの趣旨は要するに運動動作の速さをコントロールする円滑さを検するもので、自分の運動、動作を速くしたり、おそくしたりするのが自由自在にできるかどうか、すなわち運動動作の柔軟性か、硬直性かをみようとするものである。このテストを最後にもう一度再行するのは、最初の成績と、つぎに一定時間のテストという精神的負荷がかかった後で行なわれる成績との差をみようとするものである。

テスト2、3

このテストはC.A.DRAKE の考えに従って立教大学で考案した一種の注意弁別テス

トである。DRAKE は事故頻発性の一つの特徴として、注意弁別テストの成績が低い割に運動性テストの成績がよい、無事故者はこれに反し運動性テストよりも注意弁別テストの方が成績がよい。したがって事故頻発者は観察能よりも運動能の方が強いものであるという説を出している。

このテストでは、このテスト2、3の弁別テストとテスト1の動作テストとの関係から判定しようとするものである。

テスト 4, 5

このテストは労研・性能検査そのままであって、主として知的能力の水準を検査しようとするものである。

テスト 6

計算能力のテストである。

テスト 7

このテストは労研・アメフリ抹消検査を採用したもので、このテストも注意弁別能と動作能との関係をみようとするものである。

テスト 8

このテストは桐原・意志気質検査からとられたもので、意志動作の拡張、抑制の程度を検査しようとするものである。

労研・安全テストは適性検査マニュアル（産業用）記載の一般的注意事項に従って実施し、所定の方法により採点することとした。得点は偏差値または百分段階値に採点基準表を用いて換算される。偏差値または百分段階値に換算するのは、各テストごとに粗点（得点所要時間または誤など）のみであると、その成績の分布上の位置（「普通」かまたは「上」であるかというような評価）が不明であるために、成績評価ができないこと、各テスト間に共通の尺度をもって比較できないためである。

基準となった集団の粗点分布が概ね正規分布の場合は偏差値を用いるが、正規分布をなさない場合には百分段階値を用いるのが普通であり、本実験では後者によることとした。

また各テストそれ自身の成績だけでなく、各テスト間の比をとることにより、被検者の精神機能の性質をより一層明らかにすることが期待されるので、本実験では次のような各テストの比をとったが、これについて簡単に説明を加えておく。なお(a)～(g)の記号は表-32のテスト結果中の記号と対応するものである。

表-26 採点基準表

段階値	100人中の順位	評価
98	100~96名	上
90	95~86	
80	85~76	普通上
70	75~66	
60	65~56	普通
50	55~46	
40	45~36	普通下
30	35~26	
20	25~16	下
10	15~6	
3	5~0	

$$(a) \frac{\text{粗点 : テスト1問題(2) (できるだけはやく斜線を引く)}}{\text{粗点 : テスト1問題(1) (普通のはやさで斜線を引く)}} \times 100$$

これは比の値の大きいほど運動性が大きい、あるいは運動の柔軟度が大きいと考えることができる。すなわち運動速度を任意に変化できる柔軟性に富んでいることを意味し、比の値の小なるほど柔軟性に乏しいといえよう。

$$(b) \frac{\text{粗点 : テスト1問題(5) (できるだけゆっくり波形をたどる)}}{\text{粗点 : テスト1問題(2) (できるだけはやく斜線を引く)}} \times 100$$

これは比の値の大きいほど運動の抑制ができないことを意味する。反対に比の値の小なるほど運動をはやくしたり、おそくしたりする運動速度の変化に富む、すなわち運動の柔軟性に富むといえよう。

$$(c) \frac{\text{テスト1問題(2)の段階点}}{\text{テスト2の段階点}}$$

$$(d) \frac{\text{テスト1問題(2)の段階点}}{\text{テスト3の段階点}}$$

いずれも比の値を表-27より求め、さらに表-28によって段階点に換算したもので、この段階点の高いほど運動能より弁別能が良いことを意味する。

$$(e) \frac{\text{テスト9問題(1)の粗点}}{\text{テスト1問題(1)の粗点}} \times 100$$

表-27 テスト1とテスト2、テスト1とテスト3との比の値を求める表

分子 段階点 分母 段階点		(テスト1の問題2 (できるだけ早く斜線をひく) の段階点)											段 階 点
		3	10	20	30	40	50	60	70	80	90	98	
(テスト2、またはテスト3の段階点)	3	25	60	105	160	225	300	385	480	585	700	825	3
	10	15	36	63	96	135	180	231	288	351	420	495	10
	20	12	28	49	75	105	140	179	224	273	326	385	20
	30	10	24	42	64	90	120	154	192	234	280	330	30
	40	9	22	38	58	81	108	139	173	211	252	297	40
	50	8.4	20	35	54	75	100	129	160	195	234	275	50
	60	7.9	19	33	50	71	95	121	151	184	220	260	60
	70	7.5	18	32	48	68	90	115	144	176	210	248	70
	80	7.2	17	30	46	64	86	110	137	169	202	238	80
	90	7.0	16.8	29	45	63	84	108	134	164	196	231	90
	98	6.8	16.2	28	44	61	82	106	131	160	191	225	98

表-28 表-27 で求められた比の値を段階点に換算する表

比 段階点	テスト1の(2) テスト2	テスト1の(2) テスト3	段階点
98	~ 12	~ 11	98
90	13 ~ 30	12 ~ 29	90
80	31 ~ 49	30 ~ 47	80
70	50 ~ 73	48 ~ 72	70
60	74 ~ 95	73 ~ 93	60
50	96 ~ 119	94 ~ 113	50
40	120 ~ 139	114 ~ 136	40
30	140 ~ 169	137 ~ 170	30
20	170 ~ 208	171 ~ 213	20
10	209 ~ 240	214 ~ 261	10
3	241 ~	262 ~	3

(f) $\frac{\text{テスト9問題(2)の粗点}}{\text{テスト1問題(2)の粗点}} \times 100$

(g) $\frac{\text{テスト9問題(5)の粗点}}{\text{テスト1問題(5)の粗点}} \times 100$

これらはいずれも作業前に比して作業後に運動の拡張度が大きくなるかどうかをみてい

る。この比の値をそれぞれ表-29, 30, 31 により段階点に換算する。

表-29 $\frac{\text{テスト9の(1)}}{\text{テスト1の(1)}} \times 100$ (男)

百分段階値	10~19	20~29	30~39	40~49	50~59歳	百分段階値
98	195~	193~	180~	201~	175~	98
90	167~194	180~192	152~179	162~200	151~174	90
80	151~166	147~179	137~151	146~161	138~150	80
70	138~150	135~146	130~136	134~145	127~137	70
60	126~137	125~134	122~129	124~133	117~126	60
50	116~125	118~124	114~121	115~123	108~116	50
40	108~115	108~117	106~113	106~114	100~107	40
30	102~107	100~107	97~105	97~105	89~ 99	30
20	91~101	89~ 99	87~ 96	87~ 96	79~ 88	20
10	81~ 90	74~ 88	72~ 86	69~ 86	65~ 78	10
3	80~	73~	71~	68~	64~	3

表-30 $\frac{\text{テスト9の(2)}}{\text{テスト1の(2)}} \times 100$ (男)

百分段階値	10~19	20~29	30~39	40~49	50~59歳	百分段階値
98	171~	188~	175~	166~	164~	98
90	151~170	148~187	144~174	141~165	136~163	90
80	139~150	135~147	131~143	130~140	128~135	80
70	129~138	127~134	128~130	120~129	120~127	70
60	120~128	119~126	114~127	114~119	113~119	60
50	112~119	113~118	108~113	108~113	105~112	50
40	107~111	107~112	102~107	102~107	98~104	40
30	96~106	102~106	94~101	94~101	90~ 97	30
20	88~ 95	91~101	87~ 93	86~ 93	81~ 89	20
10	79~ 87	81~ 90	73~ 86	73~ 85	63~ 80	10
3	78~	80~	72~	72~	62	3

表-31 $\frac{\text{テスト9の(5)}}{\text{テスト1の(5)}} \times 100$

(男)

百分段階値	10~19	20~29	30~39	40~49	50~59歳	百分段階値
98	175~	196~	236~	227~	218~	98
90	124~174	142~195	158~235	162~226	158~217	90
80	112~123	120~141	133~157	141~161	132~157	80
70	103~111	108~119	117~132	128~140	122~131	70
60	95~102	97~107	107~116	118~127	113~121	60
50	88~ 94	88~ 96	97~106	106~117	104~112	50
40	80~ 87	79~ 87	88~ 96	95~105	94~103	40
30	70~ 79	67~ 78	77~ 87	84~ 94	82~ 93	30
20	60~ 69	54~ 66	59~ 76	63~ 83	64~ 81	20
10	42~ 59	33~ 53	36~ 58	48~ 62	47~ 63	10
3	41~	32~	35~	47~	46~	3

テストは精神的負荷の影響についても考察を加えようとするために、次に掲げる順序で各被検者について1日4回実施された。

第1回 9.00 a. m. ~

第2回 11.00 a. m. ~

第3回 1.30 p. m. ~

第4回 4.00 p. m. ~

被検者はいずれも毎回のテスト時間以外は計算器操作を含む事務作業に従事した。

(2) 結果と考察

採点、百分段階値および各テスト間の比の換算などは上記の様式に則って行なったが、被検者の年齢はともに20~29歳の範囲にある。

これらのテストを通じて次のように推論できる。

テスト 1

段階点からみれば、被検者2名の評価は「普通」であるが、テストの比からするとSHの方が運動の柔軟性にやや富むといえよう。

テスト2, 3

弁別能においてKNはSHに劣り、また運動性より弁別能がよいとする比(c)および(d)についても下位にある。

表-32 労研・安全テスト結果

被験者	順序 段階点・比 テスト番号	第 1 回		第 2 回		第 3 回		第 4 回		総 合		
		段階点	比	段階点	比	段階点	比	段階点	比	段階点	比	
KN	1	(1)	10	(a)80	50	40	50	20	20	50	33	48
		(2)	30	(b)70	30	90	20	80	20	90	25	83
		(5)	90		90		90		90		90	
		平 均	43		57		53		43		49	
	2・3	2	3	(c)30					20	80	12	55
		3	3	(d)30					60	80	32	55
		平 均	3	30					40	80	22	55
	7		50		80		50		70		63	
	8	(A)	50	40					50	30	50	35
		(B)(C)(D)	30	20					20	10	25	15
		平 均	40						35		38	
	9			(e)80						50		65
				(f)30						40		35
				(g)20						50		35
		平 均		43						47		45
SH	1	(1)	10	90	20	60	20	30	20	50	18	58
		(2)	30	80	30	80	20	70	20	70	25	75
		(5)	90		90		90		90		90	
		平 均	43		47		43		43		44	
	2・3	2	10	50					90	90	50	70
		3	50	70					50	80	50	75
		平 均	30	60					70	85	50	73
	7		10		30		98		98		59	
	8	(A)	40	70					30	90	35	80
		(B)(C)(D)	40	20					50	20	45	20
		平 均	40						40		40	
	9			40						50		45
				3						70		37
				50						60		55
		平 均		31						60		46

テスト 7

注意弁別能と動作能との関係を見るこのテストにおいては、総合的には両者の間に明らかな差は認められない。しかしながらSHにおいては、午前と午後とでは判然とした差が

あり、その理由は明らかでなく追試を必要とするが、このようにムラあるいは日週周期性があるとすれば、測定作業等の誤差を招く原因ともなりうることを考慮しておく必要があるであろう。ちなみに器械を用いての測定は午前9時前後に開始され、午後に及ぶことは少なかったで、SHにとって測定誤差を大きくした原因の一つとも考えられるが、これだけの資料では不確実である。

テスト1とテスト9の比

総合的にみれば被検者の間にはほとんど差があるとはいえない。しかしこれを時間の経過につれての変化に置換してみると次の表のようになって、被検者KNは評価「普通」→「普通下」と低下する傾向がみられ、SHにくらべて精神的負担を大きく感じていることがわかった。この精神的負担とは各テストの間で行なっている事務的作業によるものかテスト自体に由来するものかははっきりしないが、労務管理上とくに留意すべきであろう。SHにおいては、問題(2)において段階点の急激な減少が認められた。

表-33 各回のテスト1(粗点)の比較による段階点

被検者	比較 テスト問題	第2回	第3回	第4回
		第1回	第1回	第1回
KN	(1)	70	70	40
	(2)	30	10	10
	(5)	10	20	10
	平均	37	33	20
SH	(1)	60	60	50
	(2)	20	3	3
	(5)	60	70	80
	平均	47	44	44

以上事例も少ないので明確な結論を得るには至らなかったが、林木測定作業を含む林業労働についても、このような適性検査を積極的に導入することによって、適材適所の人員配置を考えるとともに、頻発する労務災害を未然に防止する方向に速やかに向わなければならないであろう。ただし本実験の目的とする測定誤差の減少、測定時間の短縮に資するため、測定者についての客観的評価資料を収集するためには、このようなテストだけでは不十分かつ不的確のものが多く、新しい心理学的観点に立脚した適性検査方法の樹立が切望されるが、過渡期にある現在では考察の中でとり上げたテスト問題およびそれらの間の比が一応の目安を与えるものと考えられる。

Ⅱ 樹高曲線の誤差およびそれが 林分材積推定に及ぼす影響

1. 概 要

われわれが材積を知ろうとする調査対象がきまったときに、全林毎木法がもし可能とすれば、対象全体の林木について何らかの方法で材積を実測できれば、そこには何も誤差は導入されない。もしも直径、樹高を実測して材積表から材積を知れば、材積表の誤差が導入される。しかし測定本数が多ければ、これは非常に小さなもので評価されないくらいであろう。この場合に直径測定の誤差、樹高測定の誤差および材積表の誤差などを非標本抽出誤差という。

一般に時間と費用の面から樹高を全部測定できず数本の林木を選んで実測し、直径と樹高の関係（樹高曲線）を用いて、直径から樹高を推定する手段をとって材積を知ることが多く、ここに樹高については全部を調べないということのために誤差が生じる。このように全体を調べないために生ずる誤差を標本抽出誤差という。

抽出された標本木の樹高が正確に測られても、樹高曲線を描いて各直径階の推定樹高を求めるときには上記の要因以外の多くの要因によって誤差を生じるので、林分材積推定に及ぼす影響についても充分考慮しなければならないが、今日までにこの問題について解析を試みたものは比較的少なく、まして材積表の誤差との関連において論じたものは皆無に近いのである。

本研究では正確な実測資料が数多く得られたので、これをもとにして以下に述べる方法によって上記諸問題について考究しようとしたものである。

2 試験の方法

京都府北桑田郡美山町字芦生所在の京都大学農学部芦生演習林に隣接して四明会記念林がある。この山林は海拔360～630mの地域を占め、面積は12.340ha、北ないし北東斜面で、平均傾斜は約35°である。山麓に位置するスギ人工林（一部群状にヒノキ混交）を試験地ⅠおよびⅡとして選んだが、他は混交天然生林で、主な樹種としては針葉樹ではスギ、モミ、広葉樹では上木としてアカシデ、イヌシデ、ウラジロガシ、コナラ、クリ、ミズメ、トチノキ、ホウノキ、ケヤキなどが、下木としてはアセビ、ヌルデ、ヤマ

アジサイ、クロモジなどが生立している。

四明会の事業計画に基づき、人工林は昭和41年5月（試験地Ⅰ，林令64年），42年5月（試験地Ⅱ，林令65年）の2回にわたって皆伐が行なわれたので，伐倒と同時に全林木について常法により区分求積資料を収集し，これを今回の解析に供することとした。なお両試験地ともそれに先立つ間伐および前年または前々年の風倒木処理などによってかなりの本数減少がみられたが，それぞれのhaあたりの直径階別本数および材積は図-38のとおりである。

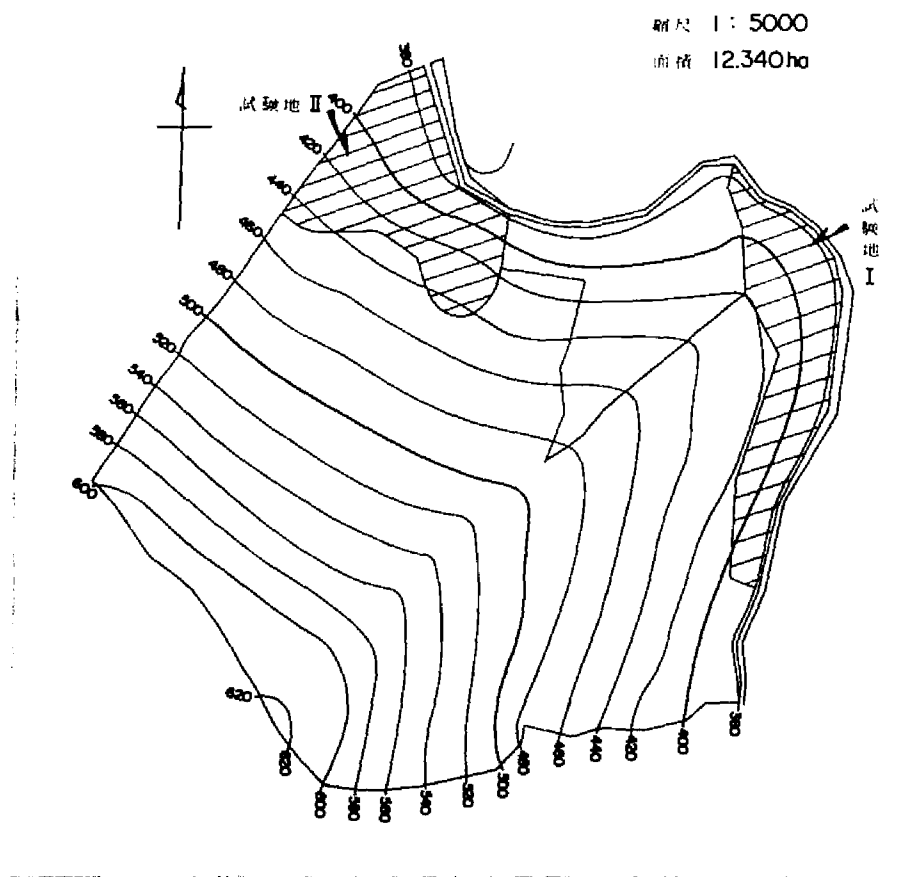


図-37 試験地地形図

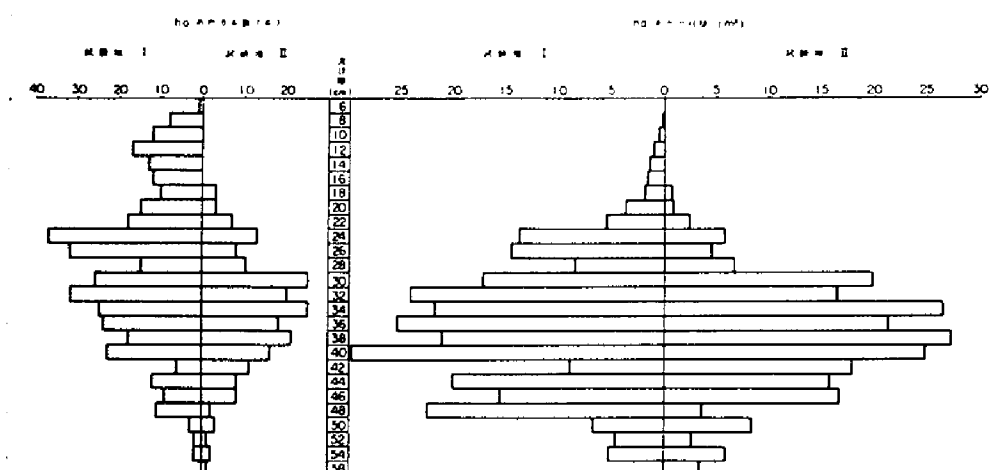


図-38 試験地のhaあたり直径階別本数および材積

表-34 試験地の概要

	試験地 I	試験地 II	試験地 II A	II
面積 (ha)	0.976	1.178	0.750	2.154
本数	376	241	434	617
haあたり本数	385	206	579	286
平均直径 (cm)	28.64	34.37	33.29	30.88
直径の標準偏差	10.67	7.35	8.25	9.91
直径の変動係数(%)	37.3	21.4	24.8	32.1
歪度 (β_1)	0.4604	0.5535	0.0671	0.5414
尖度 (β_2)	2.4871	2.068	2.8197	2.5258
実測材積 (m³)	271.7294	267.6409		539.3703
haあたり材積 (m³)	278.41	227.20		250.40

註) 試験地 I はスギのみ, II はスギ以外にヒノキ (16本, 63756 m³) があるが表には掲示してない。

試験地 II A とは試験地 II 内に昭和37年12月毎木調査の作業能率, 疲労度等の研究のため設定されたもの。

外観的には試験地 I と II とでは差異は判然としていないので, 同一林分とみなして測定する場合が想定され, これについては2林分を結合した形 II として取扱う。

表一34からも明らかなように、試験地Ⅰ、Ⅱともに直径分布は歪度（ゆがみ）からみて、左右非対称で右にスノを引いた形であり、また尖度（とがり）からみて、山が偏平であり正規分布をなしているとはいえないであろう。試験地Ⅱ内に設けられたⅡ_Aが5年前には正規直径分布をなしていたのが、このように変化したのは上に述べた原因などによるものと考えられる。

非標本抽出誤差の一つ材積表の誤差を極力小さくすることによって、標本抽出誤差の解明を容易にすることができると考えられるので、若干の現行立木材積表の適合性の検定を行なった後で、新たに材積表を調製し、これを芦生地方スギ立木幹材積表として採用した。

次に実測された直径と樹高の値を用いて、いくつかの樹高曲線回帰式により直径階ごとの推定樹高を求め、これと上記材積表から得た材積と実材積との間の偏差をみることによって、樹高曲線の描き方が材積推定に及ぼす影響を明らかにしようとした。

3. 現行立木材積表の適合性の検定

(1) 現行立木材積表

現在用いられている材積表のうちで検定の対象とすることができるのは、次の4つの材積表であると考えられる。ただし④は立木密度、保育等が全然異なる吉野地方スギに対して調製されたもので、適合性の検定というよりはむしろ完満度等を比較対照するために対象として選んだものである。

- ① 林野庁計画課編：立木幹材積表——西日本編——近畿・中国・石川・福井地方スギ（山陰——人工林）

V：材積（ m^3 ），D：直径（cm），H：樹高（m）以下同じ

直径範囲（cm）	材 積 式
4以上	$\log V = \bar{5.80793} + 1.82696 \log D + 0.99227 \log H$

- ② 京都府農林部林務課：山国地方スギ立木幹材積表

材積式 $\log V = \bar{5.7180} + 1.7985 \log D + 1.1070 \log H$

- ③ 本吉、本城、妹尾：大野演習林スギ人工林立木幹材積表

材積式 $\log V = \bar{5.770543} + 1.763497 \log D + 1.105414 \log H$

④ 奈良県林業指導所：吉野地方スギ立木材積表

直径階範囲(cm)	材 積 式
20 以下	$\log V = \bar{5.86158} + 1.91613 \log D + 0.87335 \log H$
20～30	$\log V = \bar{5.51444} + 2.01705 \log D + 1.04166 \log H$
30 以上	$\log V = \bar{5.78941} + 1.94543 \log D + 0.89725 \log H$

(2) 材積表の適合性の検定方法および結果

いまy軸に区分求積により得た実材積，x軸に材積表材積をとり，それぞれ相对应する点を定めると，すべての材積表材積と実材積が一致するときは，原点を通る45°の直線上にすべての点に乗るはずである。しかし通常このようにならず，この直線の上下に散らばり，一般に関係式 $\hat{y} = \hat{a} + \hat{b}x$ が得られる。したがって標本より推定した \hat{a} と \hat{b} の値が $a=0$ ， $b=1$ と有意差があるかどうかを検定してみればよいことがわかる。このためには \hat{a} ， \hat{b} を別々に検定する方法と，同時に検定できる方法とがあり，後者はyとxの両者の平均だけでなく，y，xの全体の傾向も検定できるという回帰特有の長所を備えているので，最もよいものと考えられ，また検定力も最も大である。このためには次式

$$F_0 = \frac{(n-2) \{ n(\hat{a}-a)^2 + 2 \sum_{i=1}^n x_i (\hat{a}-a)(\hat{b}-b) + (\sum_{i=1}^n x_i^2)(\hat{b}-b)^2 \}}{2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{a} - \hat{b}x_i)^2}$$

で求めた値を，自由度(2)，(n-2)のFの値と対比することによって行なわれる。

なお適合性の検定にあたっては，試験地ⅠおよびⅡの資料を一括して供試した。

検定材積表，直径階範囲別の回帰式および検定結果を示すと，次の表-35のようになる。

表からも明らかなように，①近畿地方，④吉野地方はすべての直径階において，きわめて適合性が悪く，一般に①は主要直径より大きい直径の木に対しては過小値を，④では過大値を与えていることが分った。吉野地方では立木密度も大であり，回数の多い間伐，枝打ちなど集約な保育を行なうことによって完満無節の材の生産を目標としているのに反して，この芦生地方ではこれまで植栽密度 2500 本/ha 程度，比較的粗放な施業によっていたので，これが幹形ひいては材積の差となって現われたものであろう。場所的に比較的隣接している②山国地方においても④に似た傾向が認められ，一部を除いて適合しないといえよう。③京都府立大学農学部大野演習林はさらに近く同じ美山町内にあり，そこで作成された材積表は芦生スギの6～20cmの小径木に対しては適合しないが，それ以上の直

表-35 現行材種表の適合性の検定

検 定 材積表	直径階範囲 (cm)	資 料 数	回 帰 式	F ₀	材積表の 適 否
① 近畿地 方	6~20	94	$\hat{y} = -0.0048 + 1.1128x$	52.44**	否
	22~40	436	$\hat{y} = -0.0015 + 1.0625x$	25.14**	否
	42~58	87	$\hat{y} = -0.0172 + 1.0722x$	34.87**	否
	全	617	$\hat{y} = -0.0014 + 1.0632x$	202.22**	否
② 山国地 方	6~20	94	$\hat{y} = -0.0002 + 1.0519x$	15.58**	否
	22~40	436	$\hat{y} = 0.0099 + 0.9977x$	3.860*	否
	42~58	87	$\hat{y} = 0.0465 + 0.9766x$	0.254	適
	全	617	$\hat{y} = 0.0103 + 0.9960x$	3.280**	否
③ 大野演 習林	6~20	94	$\hat{y} = -0.0026 + 1.0488x$	9.328**	否
	22~40	436	$\hat{y} = 0.0021 + 1.0023x$	0.981	適
	42~58	87	$\hat{y} = 0.0191 + 0.9974x$	0.537	適
	全	617	$\hat{y} = 0.0010 + 1.0050x$	2.333	適
④ 吉野地 方	6~20	94	$\hat{y} = -0.0060 + 1.0516x$	5.236**	否
	22~40	436	$\hat{y} = -0.0036 + 0.9766x$	25.95**	否
	42~58	87	$\hat{y} = 0.0658 + 0.9313x$	12.82**	否
	全	617	$\hat{y} = 0.0066 + 0.9631x$	57.76**	否

径を有する林木に対しては適用可能であることがわかった。

本研究の目的は、材積表誤差を極力小さくした上で、標本誤差の一つである樹高曲線誤差を検討することにあるので、新しく材積表を調製することとした。

なおヒノキ16本について林野庁計画課編「近畿地方ヒノキ立木材積表の適合性を検定したところ、次のような結果が得られて適用可能であることがわかった。

$$\hat{y} = 0.0005 + 1.0108x$$

$$F_0 = 0.281 < 3.7389 (F_{14}^2 (0.05))$$

4. 芦生地方スギ立木幹材積表

胸高は1.2mとし、正常な状態にある伐倒木について、常法により各位置の直径は直交する2方向について2mm単位、樹高は1cm単位で測定した。直径・樹高階別本数は表-36に示すとおりである。

材積表を作成する場合現在最も多く用いられるのは、材積式を選択してそれを最小二乗

表-36 直徑・樹高階別本數表

H(m) D(cm)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	計
6	1																											1
8	1	4	1	2																								8
10	1	2	2	3	2	1																						12
12		2	2	5	3	4	2	1		1																		17
14		1	1	3	3	3	1	2	3																			13
16			1	1	1	4	2	2	2	1																		12
18				1				2	4	3	1			1														13
20						1	2	2	3	2	2	3	1	1	1													18
22							1			1	6	2	8	2	1	1	1											26
24									3	1	7	5	8	9	7	4	1	1										51
26								1		3	3	5	10	7	5	5	1				1							41
28											1	3	3	5	4	1	7	1	2									27
30												3	1	3	8	10	15	5	4	3	1							55
32												3	3	11	5	6	6	9	7	3		1						54
34												3	3	1	5	11	8	8	7	4		1	2	1	1			54
36													1	1		2	5	8	10	7	4	4	2	1	1			44
38														1		3	1	4	6	14	8	1	1	1	1			43
40												1				3	1	5	8	5	6	4	2	2	1	2		41
42																	1	1	3	4	3	3	3	1	1	1		19
44															1			1	2	5	6	4	1	1	1	1		22
46																1		3	5	1	1	1	1	2	2	2		18
48																3	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1		13
50																			2				3		1	1		7
52																					1	1						3
54																											1	4
58																												1
計	3	6	6	11	9	13	8	10	15	20	20	25	35	42	38	47	52	44	54	54	39	22	17	9	9	8	1	617

法で決定する方法であり、材積式としてよく用いられるものをいくつか挙げると次のようになる。

(1) 材積を胸高直径のみの関数として表わしたもの

$$\textcircled{1} \quad V = aD^b \quad (a, b \text{ は定数})$$

$$\textcircled{2} \quad V = aD^2 + bD \quad (a, b \text{ は定数})$$

(2) 材積を胸高直径と樹高の関数として表わしたもの

$$\textcircled{3} \quad V = aD^b H^c \quad (a, b, c \text{ は定数})$$

山本和蔵氏が一般材積表を調製する際に提案したもので、現在ではほとんど材積表がこれによっている。上式を対数変換すれば

$$\log V = \log a + b \log D + c \log H$$

となり、 $\log V = y, \log a = a', \log D = x, \log H = z$ とおけば

$$y = a' + bx + cz$$

という形の重回帰式となり、最小二乗法で定数を決定することができる。

$$\textcircled{4} \quad V = a (D^2 H)^b$$

$$\text{または } \log V = \log a + b \log (D^2 H)$$

このほか材積を樹高のみの関数として表わしたもの、胸高形数を用いて算出する場合の胸高形数を求める公式、胸高直径、樹高および形状級の関数で表わしたものなどがある。

もちろん研究の目的からいって④を採用すべきは当然であるが、参考までに2, 3の材積表の精度を残差の百分率誤差で示すと、次のようになる。

回 帰 式	残差の百分率誤差(%)
① $\log V = -3.967819 + 2.573464 \log D$	15.47
② $\log V = -4.220906 + 1.788192 \log D + 1.078270 \log H$	6.10
④ $\log V = -4.172152 + 0.939171 \log (D^2 H)$	6.53

このように測定因子として直径、樹高の2変数を用いた材積式の方がより高い精度をあげることが期待されるのであって、正確な樹高測定と樹高曲線の描き方もまた精度向上に大きく寄与しているのである。

④式の解法は対数計算を用い、正規方程式の組織的解法によったので、 y, x, z の偏差平方和、積和および相関係数を表形式にして示すと表-37のとおりである。

表-37 平方和, 積和, 相関係数を求める計算表

n = 617	x = log D	z = log H	y = log (1000 V)
和	901.07095	801.042185	1721.728938
平均	1.46040673	1.29828555	2.79048450
X(1)	1333.48422508	1182.63154303	2559.59948403
(2)補正項	1315.93007607	1169.84739486	2514.42452157
(3) 差	$s_x^2 = 17.55414901$	$s_{xz} = 12.78414817$	$s_{xy} = 45.17496246$
(4)	4.18976718	13.91227476	45.63912344
(5)相関係数		0.918911	0.989830
Z(1)		1051.00745709	2270.04528681
(2)補正項		1039.98149457	2235.29580304
(3) 差		$s_z^2 = 11.02596252$	$s_{zy} = 34.74948377$
(4)		3.32053648	36.17059562
(5)相関係数			0.960711
Y(1)			4923.11531363
(2)補正項			4804.45791888
(3) 差			$s_y^2 = 118.65739475$
(4)			10.89299751

上の表より

$$\begin{aligned}
 c_{11} &= 0.36610495 & c_{12} &= -0.42448357 & c_{22} &= 0.58286620 \\
 b &= 1.78819244 & c &= 1.07827022 & a &= -1.22090642 \\
 s^2_{y \cdot xz} &= 0.00066213 & s_{y \cdot xz} &= 0.02573189 & s_{\sqrt{e}} &= 6.10
 \end{aligned}$$

が得られた。

全資料につき危険率 1%での信頼限界

$$\hat{y}_i \pm t \cdot s_{y \cdot xz} \left\{ 1 - \left(\frac{1}{n} + c_{11} (x_i - \bar{x})^2 + c_{22} (z_i - \bar{z})^2 + 2c_{12} (x_i - \bar{x})(z_i - \bar{z}) \right) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

に含まれない異常観測値を棄却した。

検定の結果 8 本が棄却されたので, 残りの資料 609 本を 6~30 cm, 32~58 cm の 2 つの直径級に分けて上と同様の計算を行なって, 次の表のような結果を得た。

表-38 平方和, 積和, c 乗数, 相関係数を求める表

直径級 (cm)	6 ~ 30	32 ~ 58
資 料 数	290	319
\bar{x}	1.33113066	1.57937668
\bar{z}	1.20918123	1.38045668
\bar{y}	246454595	3.08942820
s_x^2	658483436	1.12712806
s_z^2	530844602	0.93755152
s_y^2	4864410636	7.26463757
s_{xz}	536016117	0.59159776
s_{xy}	1768052420	2.66699079
s_{zy}	1536852104	2.09866205
c_{11}	0.85291176	1.32656231
c_{12}	- 0.86122087	- 0.83706471
c_{22}	1.05798997	1.59479833
b	1.84423595	1.78121352
c	1.03290468	1.11449886
a	- 1.23934202	- 1.26229630
$s_{y \cdot xz}^2$	0.00056737	0.00055447
$s_{y \cdot xz}$	0.02381953	0.02354719
$s_v(\%)$	5.64	5.57
相 関 係 数 :		
r_{xz}	0.906613	0.575496
r_{xy}	0.987888	0.932026
r_{zy}	0.956386	0.804152
重相関係数 (R)	$R_1 : 0.996653$	$R_2 : 0.975883$

これらの結果をもとにして有意性の検定を行なう。

(1) 重相関係数の有意性の検定

6 ~ 30 cm $R_1 : 0.996653$

変 動 因	自 由 度	平 方 和	平 均 平 方	備 考
回 帰	$m-1=2$	4831902753	24.15951377	$m=3$
回帰からの偏差	$n-m=287$	0.32507883	0.00113268	$n=290$
全 体	$n-1=289$	4864410636		$R_1^2=0.99331720$

$$F = 24.15951377 / 0.00113268 = 21330^{**}$$

32 ~ 58 cm $R_2 : 0.975883$

変 動 因	自 由 度	平 方 和	平 均 平 方	備 考
回 帰	2	691846037	3.45923019	$m=3$
回帰からの偏差	316	0.34617720	0.00109550	$n=319$
全 体	318	7.26463757		$R_2^2=0.95234763$

$$F = 3158^{**}$$

(2) 回帰係数の標準誤差および有意性の検定

	6 ~ 30 cm	32 ~ 58 cm
$s_b = s_{y \cdot xx} \sqrt{c_{11}}$	0.02199810	0.02712083
$s_c = s_{y \cdot xx} \sqrt{c_{22}}$	0.02450045	0.02973665
$t_b = b/s_b$	83.84^{**}	65.68^{**}
$t_c = c/s_c$	42.16^{**}	37.48^{**}

(3) 偏相関係数および有意性の検定

樹高を固定した直径と材積との偏相関係数および直径を固定した樹高と材積との偏相関係数を求めると次のとおりである。

$$r_{yx \cdot x} = \frac{r_{xy} - r_{zy} \cdot r_{xz}}{\sqrt{(1-r_{zy}^2)(1-r_{xz}^2)}}$$

$$r_{yz \cdot x} = \frac{r_{zy} - r_{xy} \cdot r_{xz}}{\sqrt{(1-r_{xy}^2)(1-r_{xz}^2)}}$$

$$t = \frac{r_{yx \cdot x}}{\sqrt{1-r_{yx \cdot x}^2}} \sqrt{n-m}$$

	6 ~ 30 cm	32 ~ 58 cm
$r_{yx \cdot z}$	0.98018863	0.96526979
t	83.84 **	65.68 **
$r_{yz \cdot x}$	0.92788913	0.90352689
t	42.16 **	37.48 **

検定の結果、2つの重回帰方程式は材積式として採用しうる。

直径級 (cm)	材 積 式
6 ~ 30	$\log \hat{V} = -4.239342 + 1.844236 \log D + 1.032905 \log H$
32 ~ 58	$\log \hat{V} = -4.262296 + 1.781214 \log D + 1.114499 \log H$

これらの材積式の計算には対数変換をしたために生ずる偏りを含んでいるので修正しなければならない。すなわち修正係数 f は

$$f = 10^{1.1513\sigma^2}$$

で与えられ、この f を対数式をもとにして真数に変換した材積に乗ずることによって修正材積が求められる。

直径級 (cm)	修正係数
6 ~ 30	1.00151
32 ~ 58	1.00147

以上の結果から得られた材積表を附表-1, 2として掲げる。なお接合部において差異を生じた場合は移動平均法により修正した。

5. 樹高曲線の誤差および林分材積推定に及ぼす影響

林木の直径測定にくらべて樹高測定には多くの時間を必要とし、さらにわが国の森林の大部分が存在する急傾斜地においては、たとえばレラスコープのような簡単に水平距離に換算できる器械を用いなければ、測定はかなり困難であるので、一般に直径階ごとに数本の標本木を抽出し、これらについて測高器を用いて樹高を測定する方法がとられる。この標本抽出のさいに生ずる誤差はこれまでの研究によれば比較的小さく、またその林分材積

への影響も小さいといわれている。

ここで得られた値は、直径と樹高の関係（樹高曲線）を用いて、直径から樹高を推定する手段をとるので、樹高曲線の描き方が問題になる。曲線の描き方としては、フリーヘンド法、移動平均法および樹高曲線式法などがあり、後者が資料を最も客観的に取扱うことができる利点を有し、次に掲げるいくつかの方法がある。

- | | |
|-----------------|---------------------------------------|
| ① Näslund 式 | $H = \left(\frac{D}{a + bD}\right)^2$ |
| ② Henricksen 式 | $H = a + b \cdot \log D$ |
| ③ Stoffels 式 | $H = aD^b$ |
| ④ Gehrhardt 式 | $H = a + b \frac{1}{D^2}$ |
| ⑤ Tischendorf 式 | $H = a + bD + cD^2$ |
| ⑥ 寺崎 式 | $H = ae^{-b/D}$ |
| ⑦ 吉田 式 | $H = \frac{D + c}{aD + b}$ |

ここではこの中から一般によく用いられる①、②および③を選び、試験地ⅠとⅡで実測された資料およびそれらを総合した資料を用いて、次に述べるような解析を行なった。

- A 全部の資料を計算に用いたもの
- B 直径階ごとの平均直径と平均樹高のそれぞれに本数で重みづけをして用いたもの
- C 直径階ごとの平均直径と平均樹高を用いたもの（普通用いられる方法）

それぞれの回帰式および誤差率は次のとおりである。

表-39 からも明らかなように、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲのような構成の林分に対しては、Näslund 式が最もよく適合するものと考えられる。

しかしながらこれらの式はいずれも理論的根拠に乏しく、経験的に与えられたもので、適合度はその場合により異なるとされているので、林分構成の異なる多くの森林において適合度をしらべなければ、曲線式の優劣を論ずることはできない。

樹高曲線ごとにそれぞれ各直径階の推定樹高を求め、さらに先に材積表の適合性の検定において用いたと同じ方法により、Aで得られた値を基準値として、BあるいはCで得られた値との間の関係式および検定結果をみると、表-40 のようになり、本数を加重することによって、Ⅲにおける Stoffels 式以外は母集団より求めた値によく近似し、とくにⅢにおける Henricksen, Stoffels 式およびⅡの Henricksen 式のそれは完全に一致しているが、従来用いられてきた方法によるときはほとんどの場合全

表-39 各樹高曲線式の回帰式および誤差率

樹高曲線式	I		II		III	
	回帰式	誤差率 (%)	回帰式	誤差率 (%)	回帰式	誤差率 (%)
Näslund 式	A $\hat{H} = \left(\frac{D}{2.0205 + 0.1553 D} \right)^2$	5.49	$\hat{H} = \left(\frac{D}{1.6791 + 0.1554} \right)^2$	4.84	$\hat{H} = \left(\frac{D}{2.0333 + 0.1506 D} \right)^2$	5.73
	B $\hat{H} = \left(\frac{D}{1.9852 + 0.1556 D} \right)^2$	1.51	$\hat{H} = \left(\frac{D}{1.6764 + 0.1549} \right)^2$	1.80	$\hat{H} = \left(\frac{D}{1.9940 + 0.1509 D} \right)^2$	1.38
	C $\hat{H} = \left(\frac{D}{1.9471 + 0.1552 D} \right)^2$	2.17	$\hat{H} = \left(\frac{D}{1.5576 + 0.1584 D} \right)^2$	3.26	$\hat{H} = \left(\frac{D}{1.9356 + 0.1519 D} \right)^2$	1.95
Henricksen 式	A $\hat{H} = -1822 + 26.0566 \log D$	10.66	$\hat{H} = -1663 + 26.4859 \log D$	9.44	$\hat{H} = -2034 + 28.1046 \log D$	11.29
	B $\hat{H} = -1810 + 25.9689 \log D$	3.78	$\hat{H} = -1681 + 26.6016 \log D$	3.27	$\hat{H} = -2031 + 28.0850 \log D$	3.24
	C $\hat{H} = -1695 + 25.4067 \log D$	5.40	$\hat{H} = -1330 + 24.2518 \log D$	5.47	$\hat{H} = -1805 + 26.6625 \log D$	4.99
Stoffels 式	A $\hat{H} = 1.7135 D^{0.717123}$	12.10	$\hat{H} = 4.0843 D^{0.498500}$	9.99	$\hat{H} = 1.7168 D^{0.728269}$	12.93
	B $\hat{H} = 1.7758 D^{0.708113}$	2.66	$\hat{H} = 4.0963 D^{0.498721}$	3.34	$\hat{H} = 1.7799 D^{0.719525}$	3.93
	C $\hat{H} = 1.7083 D^{0.715389}$	3.75	$\hat{H} = 4.8201 D^{0.449695}$	5.41	$\hat{H} = 1.7017 D^{0.724895}$	5.41

表-40 回帰式および検定結果

林分	資料数	樹高曲線式		回 帰 式	F ₀
I	25	Näslund	B	$\hat{y} = -0.1224 + 0.9980x$	2.206
			C	$\hat{y} = -0.1870 + 0.9867x$	9.744 **
		Henricksen	B	$\hat{y} = -0.0972 + 1.0031x$	0.565
			C	$\hat{y} = -0.6887 + 1.0195x$	6.856 **
		Stoffels	B	$\hat{y} = -0.1530 + 1.0038x$	1.096
			C	$\hat{y} = 0.0568 + 1.0075x$	3.129
II	20	Näslund	B	$\hat{y} = 0.0333 + 0.9883x$	3.135
			C	$\hat{y} = -1.6998 + 1.0640x$	3.920 *
		Henricksen	B	$\hat{y} = x$	0
			C	$\hat{y} = -1.0222 + 1.0485x$	2.416
		Stoffels	B	$\hat{y} = x$	0
			C	$\hat{y} = -3.5250 + 1.1584x$	32.54 **
III	26	Näslund	B	$\hat{y} = -0.2604 + 1.0093x$	1.855
			C	$\hat{y} = -0.0842 + 0.9907x$	4.795 **
		Henricksen	B	$\hat{y} = x$	0
			C	$\hat{y} = -1.3690 + 1.0492x$	27.33 **
		Stoffels	B	$\hat{y} = -0.4000 + 1.0064x$	4.637 **
			C	$\hat{y} = -0.4842 + 1.0357x$	14.01 **

註) $F_{18}^2(005) = 3.5546$ $F_{28}^2(005) = 3.4221$ $F_{24}^2(005) = 3.4028$
 $F_{18}^2(001) = 4.5597$ $F_{28}^2(001) = 4.3492$ $F_{24}^2(001) = 4.3187$

資料によるものとの間に大きな偏りを生ずることになる。換言すれば、これまで用いられてきた直径階ごとの平均直径と平均樹高を用い、適当な樹高曲線式によって推定樹高を求める方法は多くの場合母集団を代表するとはいえず、直径階別本数をそれぞれ荷重として計算することによって、はじめて未知母集団に関する一般的知識が帰納的に推論されうるといえよう。

しかしながら一般に作業は樹高推定の段階でとどまらず、さらにこのようにして求められた推定樹高により林分材積の推定へと進むのであって、そのときの誤差の差異が最も重要な問題である。したがって上式で求めたそれぞれの推定樹高と、先に作製した立木材積

表-41 各樹高曲線式による推定材積誤差率

林分	直径階範圍 (cm)	実材積 (m³)	Näslund 式			Henricksen 式			Stoffels 式		
			A	B	C	A	B	C	A	B	C
I	6~10	0.6690	-21.88	-21.88	-21.88	-20.78	-20.78	-17.06	-1.17	-1.17	-1.17
	12~20	92062	-0.06	-0.06	3.98	3.98	5.40	6.83	-0.06	1.21	-1.49
	22~30	583322	0.48	3.92	6.23	3.92	3.92	6.23	0.48	0.48	-1.06
	32~40	1198387	0.87	1.87	1.87	0.87	0.87	3.84	-0.03	0.87	-1.09
	42~50	738987	0.51	0.51	2.43	0.51	0.51	0.51	7.63	7.63	5.33
	52~54	97846	3.86	3.86	3.86	1.79	1.79	3.86	14.73	14.73	14.73
	計	271.7294	0.71	1.89	3.05	1.51	1.56	2.63	2.69	3.13	1.22
II	18~20	1.6497	-12.89	-9.80	-7.44	-7.44	-7.44	-7.44	-7.44	-7.44	-1.98
	22~30	45.8574	-1.68	0.67	0.67	-1.68	-1.68	0.67	-1.68	-1.68	-1.68
	32~40	136.1686	-1.42	-0.62	-0.62	-0.62	-0.62	-1.42	-1.42	-1.42	-2.30
	42~50	720.641	-1.62	-1.62	-1.86	-1.62	-1.62	-1.86	-0.07	-0.07	-2.90
	52~58	11.9011	-3.58	-1.67	-3.58	-1.67	-1.67	-3.58	1.23	1.23	-2.53
	計	267.6409	-1.68	-0.77	-0.90	-1.16	-1.16	-1.31	-1.02	-1.02	-2.36
III	6~10	0.6690	-1.680	-1.680	-1.680	-20.78	-20.78	-8.98	6.31	6.31	6.31
	12~20	10.8559	-0.85	1.79	1.79	3.00	3.00	7.55	-2.59	-1.65	-2.59
	22~30	104.1896	-0.47	-0.47	0.55	-0.47	-0.47	2.98	-5.81	-0.95	-5.81
	32~40	256.0073	-0.39	-0.39	0.51	-0.39	-0.39	-0.39	-2.18	-0.39	-2.18
	42~50	145.9628	-0.30	-0.30	2.05	-0.30	-0.30	-0.30	6.68	6.68	3.29
	52~58	21.6857	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	13.34	13.34	11.34
	計	539.3703	-0.37	-0.31	0.95	-0.29	-0.29	0.48	0.14	1.95	-0.86

表を用いて、各林分の材積推定を行ない、実測材積との誤差率を10cm直径級ごとに示すことにしたのが表-41である。

この表から次のことが明らかになった。

(1) 材積表は林分ⅠおよびⅡから得た全資料を用いて作製されているが、適用樹高曲線のいかんを問わず林分材積推定誤差は、Ⅰではプラス、Ⅱではマイナスを示している。Ⅱにおいては樹高曲線式および計算方法によって異なり、一定の傾向はみられない。なお単木についてそれぞれ材積表を適用した場合の林分材積誤差率はⅠで1.65%、Ⅱで-0.39%、Ⅲでは0.64%となっている。材積表そのものには推定の誤差があることについては前に述べたが、それは重回帰であれば $s_{y \cdot xx}$ もしくはその百分率誤差 s_v (%) で表わすことができる。この材積表を用いて n 本の林木の材積を推定したとすれば、その推定の誤差は s_v / \sqrt{n} となる。本実験における推定誤差率の計算値は、Ⅰ $\frac{5.64}{\sqrt{376}} = 0.29\%$ 、Ⅱ $\frac{5.64}{\sqrt{241}} = 0.36\%$ 、Ⅲ $\frac{5.64}{\sqrt{617}} = 0.23\%$ であって、Ⅱを除いて実際の値との間にはズレがある。なお一般に推定の誤差が非常に小さいもの（少なくとも1%以下）であれば林分材積を推定するために標本調査を行えば、標本抽出誤差のみをその際の林分材積推定誤差としてもよいといわれている。

実際の推定誤差率と期待値の間にズレがあることは、厳密に言えば各林分ごとに材積表を調製するかあるいは形状級を測定因子として加えた方がより正確であるであろうことを示しているが、適合度は増しても適用範囲がきわめて限定されるという矛盾を生ずることになる。

(2) 3つの林分を通じて林分材積の推定にあたっては、一般的に Näsland 式によるのが最もすぐれ、Henricksen 式がこれにつき、Stoffels 式が最も劣るように思われる。

(3) 森林調査とくに林分材積の査定においては、これまでも述べてきたように全林木について樹高測定を行なうことはほとんどなく、樹高曲線によって直径階ごとに推定樹高を求めるのであるから、A法を除いてB法とC法についてその林分材積推定の精度をみてみることにする。Näsland 式および Henricksen 式においてはいずれの林分に対してもB法がC法よりまさっているが、Stoffels 式では林分ⅠおよびⅡではC法が誤差の少ない結果となっている。

以上を総括すると、樹高曲線式の適合度および材積推定に及ぼす影響は林分構成によって大きく左右されるが、同令林においては一般に Näsland および Henricksen 式

により、しかも従来の平均直径・平均樹高の関係によることなく、これに各直径階別本数による重みづけを考慮した方が、樹高および材積ともにより正確な推定ができるものと考えられる。同時に正しく樹高を測定すること、これもまた重要な作業である。

結

論

林分材積を知る上において、直径とならんで重要な構成因子である樹高は、胸高直径がかなり正確かつ容易に測定できるのに反し、測定はやや困難でしかも時間を要する上に測定精度も相当劣るといわれている。したがって一方では測高精度を高める試みがなされ、新しい測高器械が次々に開発されたが、他方このような現実からして測定が容易かつ正確な因子よりなり、しかも材積表自体の精度もかなり高い、より使いやすい立木材積表——樹高級別—変数材積表——の調製が進められたのである。

しかしながら樹高は林分材積推定のための1因子としてだけではなく、地位の決定にあたっては重要な指標となるのであり、樹幹の細りや形状を知るため上部幹直径をしらべる際の任意の高さを決める場合に用いられるほか、精度の高い研究調査が要求される場合には依然として胸高直径と同じく測定がなされるのであって決して無視することはできない。したがって樹高測定の誤差およびそれが材積推定に及ぼす影響などに関する研究はこれまでも行なわれてきたが、樹高測定を距離測定と角度測定の2つの作業に分け、その各々について解析しようとしたものは皆無である。とくに角度測定は直径などにくらべて測定対象が的確にとらえにくいこと、とくに当該木の梢端部であるという保証がきわめて薄弱であることなどから、今回はこの問題には触れなかったが、一貫した研究を目ざすためには避けて通ることはできないであろう。しかしながら距離測定誤差の解析の重要性が失われたものではないから、実験結果をもとにして考察を進めてみることにした。

わが国で現在ひろく用いられている測高器による距離測定は巻尺などによる直接測定（例　ワイゼ測高器）と、光学的方法などによる間接測定（例　距離計、ブルーメ・ライス測高器、シュビーゲル・レラスコープ、デンドロメーターなど）に大別でき、それぞれ一長一短がある。引続いて樹高測定を行なう場合、使用器械の選択は各人の自由裁量——普通使い慣れたものになる可能性が大きい——にまかせられるが、わが国の森林においては一般的に後者のタイプに属するものが有利であるといえよう。

またこれら測高器による樹高測定は三角法の原理に基づいて行なわれる。

$$h = L (\tan \alpha + \tan \beta) = L (P_1 + P_2)$$

$$\delta_h(\%) = \sqrt{\{\delta_L(\%) \}^2 + \left(\frac{P_1}{P_1 + P_2}\right)^2 \{\delta_{p_1}(\%) \}^2 + \left(\frac{P_2}{P_1 + P_2}\right)^2 \{\delta_{p_2}(\%) \}^2}$$

L : 水平距離

α : 眼高から上の角度 (梢端)

β : 眼高から下の角度 (根元)

P_1 : 梢端の視準値

P_2 : 根元の視準値

すなわち、水平距離の誤差率にくらべ、梢端の視準値、根元の視準値の各誤差率は、その影響が小さいといえる。このように水平距離の測定には充分注意しなければならない。

このような観点から、Iでの実験結果を通じて、最も精度が高く、かつ使いやすい器械の選定に対する指針を与え、さらに適格者の判定を客観的に行なう可能性を見出すことによって、この種の作業の合理化、作業能率の増進に役立たせるべく本研究が行われたのであり、総括的に次のように結論できる。

測定者間では視準に各人固有の癖があることにより、誤差は大きな偏りをもって出現する。器械は全体的にみて距離計あるいはブルーメ・ライスによって測定した方がレラスコープタイプのものより精度がよいが、前2者の間でもかなりの差異がみられる。測定距離が増すにつれて誤差は増大する傾向がみられるが、誤差率としての変動はほとんど変らない。一般に実験開始後2日ほどは各測定者、器械において大きな誤差が認められることは慣れが大きく影響しているものと考えられ、習熟することこそ肝要であるといえよう。また同時に器械の改良たとえば像の拡大をはかるアタッチメントの開発とか、多少功程を犠牲にしても手ぶれ防止のために1本脚支柱を採用するなどの方策も検討する必要があるであろう。

次に測定所要時間についてみてみることにする。3人の測定者の所要時間には有意差が認められるし、いずれもレラスコープ2種の測定に要する時間は、距離計よりも多く、ブルーメ・ライスよりはるかに大きい。また距離が大きくなると時間も長くなるようである。使用経験が増すにつれてすみやかに測定を終えるようになるのは、このような単純作業ではむしろ当然の帰結といってもよいであろう。

以上の結果は最も条件の良い状態の下で得られたもので、これをそのまま現実の森林内に適用することには多少逡巡を感じるが、一応の推論を加えてみよう。

平地林あるいは緩傾斜地における距離測定では距離計またはブルーメ・ライス——ただ

し距離計単独では樹高測定が行なえないので、他の適当な器械との併用ということになる。が、山岳林のような急傾斜地の多い森林では多少精度を犠牲にしてもレラスコープが推奨されるが、この器械はとくに使用方法に習熟した後で実地に適用するのが望ましいこととはいうまでもない。

測定担当者の適性をしらべる方法の一つとして $\bar{x}-R$ 管理図を提案したい。このための基準値を示しておいたが、この方法によるときは比較的簡単に選抜が行なえることになる。また適性を客観的に判定する方法として心理テストがあり、ここでは労研・安全テストを行なって、今後の参考資料としての効用を期待したのである。

いかに樹高測定が正確に行なわれても、林分材積の推定にあたっては一般に樹高曲線を描くことによって、直径階別の推定樹高を求めることが行なわれ、ここに誤差の介入する余地がある。Ⅱにおいてこの問題を取扱ったが、その結果これまで行なわれてきた直径階ごとの平均直径と平均樹高を用い、適当な樹高曲線式によって推定樹高を求める方法は多くの場合母集団を代表するとはいえないことがわかった。直径階別本数をそれぞれ荷重として計算することによって、はじめて未知母集団の樹高に関する知識が帰納的に推論されるに至る。

樹高曲線式としては、同令林においては一般的に Näsland 式および Henricksen 式が林分材積推定のための推定樹高を求めるのに最も適しているといえるが、林分構成状態によっても大きく左右されるので、適合度はその都度変化することを考慮に入れておかなければならない。

要

約

林業政策ならびに健全な森林計画を樹立するためには、森林資源を的確に把握することが前提となるが、このためには材積、生長量などを正確に測定・査定しなければならない。このための森林調査方法および技術は最近の空中写真と数理統計学の知識を援用して目ざましい発展をとげたが、依然としてその基礎を構成しているのは、対象面積に大小はあるとはいえ、毎木直径調査と樹高測定であって、その正確さと迅速性が要求されている。とくに学術研究調査や集約な林業経営においては、この2つの測定は欠くことのできない基本作業であるといっても過言ではない。また現在最もひろく用いられている立木材積表はいずれも直径と樹高を構成因子としており、これらが林分材積と最も関係の深い因子であることからしても当然のことである。さらに進んで利用材積まで知ることが必要である場合には、表の調製はもちろんのこと、細りや形状をしらべるため任意の位置までの高さや直径を測定することが不可欠であるし、地位の決定にあたっては樹高が唯一の指標となるのであるから、直径と樹高の測定はますます重要性を増してくるのである。

本研究はこの重要な測定因子の中から樹高を選び、以下に述べるような実験によって、測定者、器械あるいは測定距離のちがいでによって惹起される測定誤差および測定所要時間の差異を明らかにしようとしたものである。なお樹高測定は距離測定と角度測定の2つの作業より成り立つが、水平距離の誤差率にくらべ、梢端の視準値、根元の視準値の各誤差率はその影響が小さいので、今回は距離測定誤差のみをⅠにおいて取扱った。

いかに樹高測定が正確に行なわれても、林分材積の推定にあたっては、一般に樹高曲線を描き直径階別の推定樹高を求めることによって作業が進められるから、ここに誤差の介入する余地があり、この問題をⅡにおいて論じようとしたものである。

Ⅰ.

測定を担当した3人の間では測定精度に有意の差が認められた。各測定者ともこの種の器械による測定には全くの未経験者であり、前もって視準方法を固定するための練習を積んだ後での結果であるから、視準そのものに各人固有の癖があること、手持ち測定によるため、あるいは器械によっては視度調整式でないことの影響がこのような結果をもたらしたものと考えられる。したがってこれを是正するためには、充分器械に習熟することが必

要であり、また器械の改良あるいは使用方法の検討を行なわなければならないであろう。さらに測定者に得手・不得手があるのか機構的には全く同種の器械間でも有意差が認められたことは、今後の測定にあたっては最も適当な器械を用いるべきであることを示唆している。

異なる機構を有する器械間では測定誤差の差異は顕著であって、本実験で最も精度の高かったのは距離計で、ブルーメ・ライスはこれにつき、レラスコープ2種は最も劣るという結果が得られた。これら器械はいずれも測定距離が増すにつれて、精度は悪くなる傾向にある。とくにレラスコープの場合、傾斜角の \cosine に比例して測帯の幅を細くする補正によって直接水平距離が求められるようになっていることは、上と同じ関係にある。したがってわが国の森林のような急傾斜地においても使用が可能であるが、反面平地における測定にくらべて誤差を生じやすいことに留意しなければならない。

これら器械のうち距離計およびブルーメ・ライスはともに数回の練習で比較的正しい値が得られるようになるが、2種のレラスコープでは実験当初の約2日間は誤差も大きく、その使用にあたっては充分練習を積む必要のあることがわかった。したがって使用場所に制約をうけるが、未経験者には距離計もしくはブルーメ・ライスによる測定が最も妥当である。

次に測定所要時間についてみると、3人の測定者それぞれの間では有意の差が認められた。しかもこの関係は測定誤差の大小とは全く反対の関係にあり、したがって作業能率の増進と精度の向上という2つの要求を同時に満たすことの困難性を示しているようにみえる。しかしながら一般的にみて各測定者とも日数の経過とともにすみやかに測定を終えているという実験結果は、このような単純作業における慣れを示し当然の帰結であるが、これは上記の一見両立しない要求を解決する鍵ともなりうるのであって、練習の積上げこそが唯一の解決策であることを示している。もちろん練習を通じて精度を高めるための手段も同時に講じなければならない。

4つの器械のうちでは、ブルーメ・ライスは最も使いやすく、距離15mにおいては距離計の約 $\frac{1}{2}$ 、レラスコープ2種の約 $\frac{1}{3}$ の時間で、30mでは他の器械との差は多少少なくなるが、いずれのものよりも短い時間で目的を遂げることが示された。またブルーメ・ライスでは1両日の使用によって視準に慣れ、10日も経てば後はほとんど変らない時間で作業を進めることができるようになるが、距離計の場合は10～15日後と前者にくらべて、ややおそく、レラスコープ2種では徐々に慣れて能率よく測定を進めることがで

きるようになるが、それでもある日突然多くの時間がかかるという全く不安定な状態にあり、また1日5回の測定でもこれによく似た傾向がみられた。したがって使い易さからして前2者がすぐれているといえよう。

測定距離の大小は測定時間に大きく影響する。また15mの場合は日数の経過とともに比較的早く定常値をとるが、30mでは実験の後半に入ってからである。

測定精度・測定時間の結果を総合すると、機構的に異なるレラスコープ旧型、新型2種と、ブルーメ・ライスおよび距離計2種との間にはいずれも判然とした差があり、後者のグループ内でも構造上差異があるので、それがそのまま異なった値となって現われてきている。平地あるいは緩傾斜地において、誤差を極力小さく、また迅速に距離測定を行なうとする場合には、ブルーメ・ライスもしくは距離計が最も適しており、正確度、精度を同時に満足させるときは後者が、能率よく作業を進める場合には前者が推奨される。

また両器種とも未経験者にとって使用が容易で、マスターしやすい利点を有する。ただし距離計は基線長の関係で、林内とくに密林内において使用するときにはかなりの制約をうけることを覚悟しなければならない。また樹高測定には測高器を併用しなければならないので、1種を選定するとなれば当然ブルーメ・ライスということになる。

急傾斜地において樹高測定を行なう場合は、とくに梢端の視準の容易な山側からするのが常であって、上記2器種よりはレラスコープの方が有利であるが、一定の距離をとらなければ測高できず、また中間の視準障害木をさけるために短い測定補助板、狭い測帯幅の組合わせを用いるよりは、ポールおよびP尺を用いて距離測定を行なうことなく任意の位置から直接樹高を測定する方が実用的かつ能率的であるといえよう。

測定者もまた精度、工期に大きな影響を与えていることは、その原因が各人固有の癖・性格等に由来しているとはいえ、重要な測定因子樹高を求める上において充分考慮しておかなければならない。このためには適格者による測定が望まれるが、その選抜の一つの方法として管理図の導入を提案した(図-8~図-35参照)。一般に管理手段としては \bar{x} -R管理図および \bar{x} - σ 管理図があり、理論的には後者がすぐれているが、本研究の成果を通じて \bar{x} -R管理図が充分この目的に合致することがわかり、これであれば現場への導入も比較的容易である。したがってここでは偶然的原因による変動はこれをやむをえないものとして許容し、突きとめうる原因すなわち避けえられる原因による変動は極力これを防ぐことを目的として、器械別、測定距離別の基準管理図を作成した。これによるときは測定者が大きい誤差を生じた場合すぐにその原因を解明することが容易になり、したがっ

て測定者の測定精度の向上あるいは正確度を増すことに大きな力を与えるとともに、適格者の選抜あるいは養成に役立つものと考えられる。

また測定者の心理的特性についての客観的評価資料を収集するために労研・安全テストを試みた。事例も少なく的確な判断は下しえなかったが、林業労働においてもこの種の適性検査を積極的に導入することによって、適材適所の人員配置を考えるとともに、頻発する労務災害を未然に防止する方向に速やかに向わなければならぬことは確かである。

Ⅱ

林分材積を推定する場合には、一般に時間と費用の関係で樹高を全部測定せず、何本かの林木を選んで実測し、直径と樹高の関係（樹高曲線）を用いて直径から樹高を推定する手段をとることが多いが、ここに樹高については全部をしらべないということのために誤差が生ずる（標本抽出誤差）。これまでの研究によれば、この誤差は比較的小さく、またその林分材積への影響も小さいといわれている。一方Ⅰで取扱った樹高測定の誤差や直径測定の誤差および材積表の誤差は非標本抽出誤差と呼ばれる。

本研究では樹高曲線の描き方およびそれが林分材積推定に及ぼす影響を扱うこととして次のように研究を進めた。すなわちまず非標本抽出誤差のすべてを極力小さくする目的をもって、伐倒された林木全部について直径、樹高および材積を実測し、これらを用いて2変数材積表を作製し、これを芦生地方スギ立木幹材積表と呼ぶこととした。なおそれに先立ち現行4立木材積表の適合性の検定を行なったが、その多くは適用不可能であった。上記実測資料は直径階ごとにまとめて平均直径、平均樹高が計算され、また実測材積は比較の対象として用いられた。

樹高曲線はフリーハンド法、移動平均法あるいは数式法によってもとめられるが、数式法が資料を最も客観的に取扱いうる上に、誤差についても数量的に把握しうる利点を有するのでこれによった。なお曲線式としては Näsland, Henricksen および Stoffels 式を選んだが、これは一般によく用いられているという理由による。またさらに資料の取扱いについては

- A 全部の資料を計算に用いたもの
- B 直径階ごとの平均直径と平均樹高のそれぞれに本数で重みづけをして用いたもの
- C 直径階ごとの平均直径と平均樹高を用いたもの（普通用いられる方法）

の3つの方法によることとして、その間の差異を明らかにしようとした。それぞれの回帰式および誤差率は表-39 (p95) に示すとおりで、本研究における試験地のような林

分構成を有する同令林では Näslund 式が最もよく適合することがわかった。また樹高曲線ごとにそれぞれ各直径階の推定樹高を求め、A で得られた値を基準値として、B あるいは C で得られた値との間の関係式および差の検定結果を求めた（表-40 参照）。その結果 B 法によるときは多くの場合母集団より求めた値によく近似するが、従来用いられてきた方法（C 法）によるときはほとんどの場合全資料によるものとの間に大きな偏りを生ずることがわかった。

しかしながら一般に作業は樹高推定の段階でとどまらず、さらにこのようにして求められた推定樹高により林分材積の推定へと進むので、上で得られた直径階別推定樹高と、先に作製した立木材積表を用いて各林分の材積推定を行ない、実測材積との誤差率を 10cm 直径級ごとに示すことにしたのが表-41 である。この結果 3 つの林分を通じて、一般的に Näslund 式によるのが最もすぐれ、Henricksen 式がこれにつき、Stoffe-ls 式が最も劣るということがわかった。また多くの場合 B 法が C 法よりすぐれているといえよう。

以上を総括すると、樹高曲線式の適合度および材積推定に及ぼす影響は林分構成状態によって大きく左右されるが、同令林においては一般に Näslund および Henricksen 式により、しかも従来の平均直径・平均樹高の関係によることなく、これに各直径階別本数による荷重を考慮した方法が、より正確な推定ができるものと考えられる。同時に正しく樹高を測定することこそ最も重要な基本作業であるといえよう。

文 献

- 石川 馨 : 分析化学講座 — 分析誤差 共立出版 1957
- 石川 馨, 藤森利美, 久米 均 : 化学者および化学技術者のための統計的方法
東京化学同人 1964
- 大隅真一 : 括約誤差に関する研究 京大演報 24 1954
- 大隅真一 : 毎木調査による胸高断面積測定誤差に関する研究 京府大学術報告 14
1962
- 大隅真一ほか : 森林計測学 養賢堂 1971
- 大友栄松 : 材積表の検定について 日林誌 38 (6) 1956
- 岡崎文彬, 菅原 聡ほか : 国有林野の蓄積ならびに成長量査定における精度と功程に
関する研究調査報告 大阪営林局 1958
- 梶原幹弘 : 樹高測定誤差に関する研究 (4) 日林関西支講 1963
- 梶原幹弘 : 新しい立木材積表の調製に関する研究 (1) ~ (4) 日林誌 47 (1) ~ (4)
1965
- 梶原幹弘 : 樹高曲線の誤差に関する実験的考察 京府大演報 10 1966
- 岸根卓郎 : 理論・応用統計学 養賢堂 1966
- 北川敏男, 増山元三郎編 : 新編 統計数値表 河出書房 1952
- 木梨謙吉, 鶴崎一永 : 各種測高器の単一測定誤差について 九大演報 17 1949
- 京都府農林部林務課 : 山国地方スギ人工林林分収獲表 1970
- 黒田芳夫 : 人間労働の科学 有信堂 1953
- 佐野宗一 : 毎木調査における功程と作業形態および疲労との関係 1967
- 柴田信明 : フリーハンドによる樹高曲線についての考察 日林講 74 1963
- 菅原 聡 : 毎木調査における括約誤差について 信大農学部紀要 2 (1) 1959
- 鈴木 武 : 品質管理概説 日刊工業新聞社 1961
- Spurr, S. H. : Forest Inventory p. 179 ~ 180 1952
- 高田和彦 : 胸高断面積による材積推定の研究 (3) 普遍的変数材積表について
日林誌 39 (7) 1957

- 高田和彦 : 胸高断面積による材積推定の研究 (5) 標準樹高曲線の作製 日林誌 40
(1) 1958
- 高田和彦 : 樹高曲線式と材積式との関係 日林誌 41 (7) 1959
- 高田和彦 : 角度測定法の誤差について(1) 水平方向の測定 森林計画研究会会報 67
1959
- 豊原恒男 : 産業心理学 共立出版 1958
- 奈良県林業指導所 : 吉野地方スギ立木材積表説明 1964
- 西沢正久 : 森林測定法 地球出版 1959
- 沼倉三郎 : 測定値計算法 森北出版 1956
- 平田種男 : 標準曲線による樹木幹材積表 (オウシュウアカマツ) 日林誌 39 (1)
1957
- 福井三郎ほか : 推計学入門演習 産業図書 1960
- Belyea, H. C. : Forest Measurement p. 26~28 1931
- Bennett, C. A. and Franklin, N. L. : Statistical Analysis
in Chemistry and the Chemical Industry
(奥津 恭訳 : 化学および化学工業における統計解析 II 丸善 1959)
- 三上 操 : 応用推計学 内田老鶴圃 1957
- 溝上正行 : 測高器の精度検定並びに樹高誤差の蓄積にあたる影響について 森林計
画研究会会報 89 1961
- 嶺 一三 : 測高器使用の際に生ずる個人測定誤差の研究 東大演報 21 1925
- 本吉瑠璃夫, 本城尚正, 妹尾俊夫 : 大野演習林におけるスギ人工林材積表の調製
京府大演報 8 1964
- 山田茂夫, 村松保男 : 例解測樹の実務 地球出版 1967
- 山田雄一 : 適性 — キャリア開発の指針 — 筑摩書房 1971
- 林野庁計画課編 : 立木幹材積表 — 西日本編 — 日本林業調査会 1970
- 労働科学研究所編 : 適性検査マニュアル (産業用) 労働科学研究所出版部 1965
- 和田茂彦, 梶原幹弘, 兼松功次 : 樹高測定誤差に関する研究 (1) ~ (3) 日林誌 74
1963
- 和田茂彦 : 同 上(5) 日林誌 79 1968

芦 生 地 方 ス ギ 立 木 幹 材 積 表

單位：m³

[illegible]

芦 生 地 方 ス ギ 立 木 幹 材 積 表

単位 : m^3

直径 樹高 m	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	直径 樹高 m
10	0.356	0.397														10
11	0.394	0.440	0.469	0.516												11
12	0.433	0.483	0.517	0.569	0.623	0.680										12
13	0.471	0.526	0.565	0.622	0.681	0.743	0.808	0.874								13
14	0.510	0.569	0.614	0.675	0.740	0.807	0.877	0.949	1.024	1.101						14
15	0.550	0.613	0.663	0.729	0.799	0.872	0.947	1.025	1.106	1.189	1.275	1.364				15
16	0.589	0.657	0.712	0.784	0.859	0.937	1.018	1.102	1.188	1.278	1.371	1.466	1.564	1.665	1.768	16
17	0.629	0.701	0.762	0.839	0.919	1.002	1.089	1.179	1.272	1.367	1.467	1.568	1.673	1.781	1.892	17
18	0.669	0.746	0.812	0.894	0.979	1.068	1.161	1.256	1.355	1.457	1.563	1.671	1.783	1.898	2.017	18
19	0.709	0.790	0.862	0.949	1.040	1.135	1.233	1.334	1.439	1.548	1.660	1.775	1.894	2.016	2.142	19
20	0.749	0.835	0.913	1.005	1.101	1.202	1.305	1.413	1.524	1.639	1.758	1.880	2.006	2.135	2.268	20
21	0.790	0.880	0.964	1.061	1.163	1.269	1.378	1.492	1.609	1.731	1.856	1.985	2.118	2.254	2.395	21
22	0.830	0.925	1.015	1.118	1.225	1.336	1.451	1.571	1.695	1.823	1.955	2.090	2.230	2.374	2.522	22
23	0.870	0.970	1.067	1.175	1.287	1.404	1.525	1.651	1.781	1.915	2.054	2.196	2.343	2.495	2.650	23
24	0.911	1.016	1.119	1.232	1.350	1.472	1.599	1.731	1.867	2.008	2.154	2.303	2.457	2.616	2.779	24
25	0.952	1.061	1.171	1.289	1.412	1.540	1.674	1.812	1.954	2.102	2.254	2.410	2.572	2.738	2.908	25
26	0.993	1.107	1.223	1.347	1.475	1.609	1.749	1.893	2.042	2.196	2.354	2.518	2.687	2.860	3.038	26
27	1.034	1.153	1.276	1.405	1.539	1.679	1.824	1.974	2.129	2.290	2.455	2.626	2.802	2.983	3.169	27
28	1.075	1.199	1.328	1.463	1.603	1.748	1.899	2.056	2.217	2.385	2.557	2.735	2.918	3.106	3.300	28
29	1.117	1.245	1.381	1.521	1.666	1.818	1.975	2.138	2.306	2.480	2.659	2.844	3.034	3.230	3.431	29
30	1.158	1.291	1.435	1.580	1.730	1.888	2.051	2.220	2.395	2.575	2.761	2.954	3.151	3.355	3.563	30
31	1.200	1.338	1.488	1.638	1.795	1.958	2.127	2.302	2.484	2.671	2.864	3.064	3.268	3.480	3.696	31
32		1.384	1.541	1.697	1.860	2.029	2.204	2.385	2.573	2.767	2.967	3.174	3.386	3.605	3.829	32
33		1.430	1.595	1.757	1.925	2.099	2.281	2.468	2.663	2.864	3.071	3.285	3.504	3.730	3.963	33
34				1.816	1.990	2.170	2.358	2.552	2.753	2.961	3.175	3.396	3.623	3.856	4.097	34
35				1.876	2.055	2.242	2.435	2.636	2.843	3.058	3.279	3.507	3.742	3.983	4.231	35
36							2.513	2.720	2.934	3.156	3.384	3.619	3.861	4.110	4.366	36
37							2.591	2.804	3.025	3.254	3.489	3.731	3.981	4.238	4.501	37
38										3.352	3.594	3.844	4.101	4.366	4.637	38
39										3.450	3.700	3.957	4.222	4.494	4.773	39
40													4.342	4.622	4.910	40